

Direction Sécurité, Structures et Feu

APPRECIATION TECHNIQUE D'EXPERIMENTATION
ATEx de type : a
numéro de référence : 2588

Selon l'avis du Comité d'Experts, le demandeur ayant été entendu, la demande d'ATEx ci-dessous définie :

Demandeur :	Association ART. TERRE MAYOTTE - 72 rue Saharangue - 97600 MAMOUDZOU
Technique objet de l'expérimentation :	Procédé de murs intérieurs ou extérieurs en maçonnerie chaînée de blocs de terre comprimée (BTC). Les murs réalisés peuvent être porteurs avec un élancement géométrique limité à 15, ou non porteurs en maçonnerie de remplissage avec un élancement limité à 20. Dans tous les cas, la longueur de la diagonale du pan de maçonnerie entre chaînages est limité à 40 fois l'épaisseur du mur. Côté extérieur, les murs peuvent être laissés apparents ou recevoir un enduit d'imperméabilisation. Les doublages intérieurs éventuels sont solidarisés au gros oeuvre par fixation mécanique sur ossature.

Cette technique est définie dans le dossier enregistré au CSTB sous le numéro 2588 et résumée dans la fiche sommaire d'identification ci-annexée.

donne lieu à une : **APPRECIATION TECHNIQUE FAVORABLE A L'EXPERIMENTATION**

Remarque importante : Cette appréciation favorable est formulée pour une durée de validité jusqu'au 31 mai 2021.
Domaine d'emploi accepté : bâtiments à usage d'habitation, bureaux, bâtiments industriels ou agricoles, établissements recevant du public situés dans le département de Mayotte (976). Les bâtiments sont limités à R+1 pour les maçonneries porteuses et à R+4 pour les maçonneries de remplissage. Pour les ouvrages soumis à exigences réglementaires en matière de résistance au feu, le domaine d'emploi est limité à l'utilisation des configurations visées dans les appréciations de laboratoire ou Procès Verbaux de classement disponibles. En outre, les bâtiments classés en catégorie d'importance IV au sens de l'arrêté du 22 octobre 2010 ne sont pas visés par la présente Appréciation.

Cette Appréciation ne vaut en outre que moyennant le respect des recommandations énoncées au §5 ci-après.

Cette Appréciation, **QUI N'A PAS VALEUR D'AVIS TECHNIQUE** au sens de l'arrêté du 21 mars 2012, découle des considérations suivantes :

1°) Sécurité.

1.1. *Stabilité et sécurité des usagers :*

La résistance caractéristique en compression des maçonneries f_k est donnée dans le tableau 3 du §2.3.5 du Cahier des Charges en fonction de la résistance des BTC et de celle du mortier de recette. Seules les associations pour lesquelles les mortiers et les BTC présentent des performances voisines sont autorisées. Le dossier technique ne comportant pas de justification expérimentale sur la résistance de ces maçonneries, le Comité d'Experts a accepté de valider les valeurs de f_k données dans ce tableau en s'alignant sur la formule de calcul donnée dans l'EN 1996 pour les maçonneries du groupe 1 conduisant aux valeurs les moins élevées (cas des maçonneries de pierres naturelles), et en limitant le domaine d'emploi des maçonneries porteuses à 2 niveaux au plus.
L'attention est attirée qur le fait que les valeurs de résistances caractéristiques en compression f_k données dans ce tableau s'entendent pour des ouvrages considérés comme secs. Pour des ouvrages susceptibles d'être humidifiés de manière sensible en service tels que les murs de façades non revêtus côté extérieur par un enduit d'imperméabilisation, la résistance caractéristique en compression à prendre en compte dans ce cas doit être divisée par 2 par rapport à celle indiquée dans ce tableau. Cette valeur de 2 correspond au rapport de résistance sec/humide donné au §3.4 de la norme XP P 13-901.
Il est rappelé que les BTC20 ne peuvent pas être utilisés pour réaliser des murs porteurs.
Par ailleurs, les prescriptions du dossier technique concernant l'élancement des murs et les distances entre chainages verticaux permettent de s'affranchir des vérifications de flexion hors plan des maçonneries.

Pour les vérifications de résistance des ouvrages en maçonnerie de BTC chainée sous actions sismiques, il est considéré que ces derniers ont une ductilité limitée se traduisant par un coefficient de comportement q égal à 1,5.

1.2. *Sécurité en cas d'incendie :*

Compte tenu de la nature incombustible des matériaux constitutifs des blocs et du mortier, le procédé ne pose pas de problème particulier du point de vue de la réaction au feu. Concernant la résistance au feu, le procédé peut permettre de satisfaire à la réglementation incendie pour le domaine d'emploi accepté dans la configuration visée par le rapport d'essai n°EFR 17-J-002204 établi par le laboratoire Efectis.

Le présent document comporte deux pages et deux annexes : il ne peut en être fait état qu'in extenso.

1.3. *Sécurité des intervenants :*

De ce point de vue, le procédé ne se distingue pas des dispositions prises pour la réalisation d'ouvrages en maçonnerie traditionnelles de petits éléments. La sécurité des intervenants lors de la mise en œuvre peut être convenablement assurée moyennant le respect des recommandations n°3 et 4 figurant au § 5 ci-après.

2°) Faisabilité

2.1. *Fabrication :*

Le choix du matériau et de son élaboration dépend du type de BTC à fabriquer, de l'utilisation prévue, des performances mécaniques recherchées (BTC20 40 ou 60) et des sollicitations environnementales requises (résistance à l'abrasion, capillarité). Le respect des conditions de formulation et de production données dans la partie 3 du Cahier des Charges devrait permettre d'assurer la faisabilité de la fabrication au regard des performances attendues.

2.2. *Mise en Oeuvre :*

La mise en œuvre, bien que spécifique au procédé, relève de techniques déjà pratiquées sur le département de Mayotte.

3°) Risques de désordres

Les principaux risques de désordres spécifiques au procédé sont liés à la sensibilité à l'eau du matériau « terre crue », susceptible d'altérer ses performances mécaniques ainsi que la durabilité d'aspect des parois. En outre, des traces d'humidité passagères peuvent apparaître en parement intérieur pour les configurations de murs de façade les plus exposées aux concomitances vent-pluie. Les prescriptions de conception, de fabrication et de mise en œuvre précisées dans le Cahier des Charges sont de nature à limiter ces risques.

4°) Appréciations complémentaires

Pour l'utilisation de murs en maçonnerie de BTC d'épaisseur inférieure à 22 cm devant satisfaire à des exigences réglementaires en matière de résistance au feu, il sera nécessaire d'obtenir une appréciation de laboratoire ou un PV de classement auprès d'un laboratoire au feu agréé.

5°) Recommandations Il est recommandé :

1. De veiller au respect scrupuleux des dispositions constructives données dans le Cahier des Charges pour la protection à l'eau des ouvrages de BTC, notamment vis-à vis des phénomènes de ruissellement, de rejaillissement et de remontées capillaires ;
2. De veiller à prendre toutes dispositions pour que les produits testés en laboratoire présentent une composition représentative de celle des produits destinés à être mis en œuvre sur chantier ;
3. en phase provisoire, d'installer les dispositifs de protection collectives et de fixer les garde-corps sans tenir compte de la présence des ouvrages en BTC;
4. de compléter le cahier des charges par un paragraphe décrivant les dispositions à prendre par les entreprises de pose pour éviter le risque de basculement des ouvrages en phase provisoire sous l'effet de sollicitations dues au vent.

6°) Rappel : Le demandeur devra communiquer au CSTB au plus tard au début des travaux, une fiche d'identité de chaque chantier réalisé en précisant l'adresse du chantier, les coordonnées des intervenants, ainsi que les contrôles spécifiques réalisés.

En conclusion, moyennant le respect du Cahier des Charges référencé en annexe 2 ci-après et des recommandations ci-dessus, le Comité d'Experts estime que :

- la sécurité est convenablement assurée ;
- la faisabilité est avérée ;
- les risques de désordres sont limités.

Champs-sur-Marne, le 24 mai 2018

Le Président du Comité d'Experts

P. DELMOTTE

Le présent document comporte deux pages et deux annexes : il ne peut en être fait état qu'in extenso.

ANNEXE 1 À L'APPRECIATION TECHNIQUE D'EXPERIMENTATION
Référence ATEx n°2588 du 24 mai 2018

FICHE SOMMAIRE D'IDENTIFICATION (1)

Demandeur :	Association ART. TERRE MAYOTTE - 72 rue Saharangue - 97600 MAMOUDZOU
Fabricant	Sociétés ayant souscrit une adhésion auprès de l'association ART. TERRE MAYOTTE et déposé un Plan d'Assurance Qualité

Définition de la technique objet de l'expérimentation :

Procédé de murs intérieurs ou extérieurs en maçonnerie chaînée de blocs de terre comprimée (BTC). Les murs réalisés peuvent être porteurs avec un élancement géométrique limité à 15, ou non porteurs en maçonnerie de remplissage avec un élancement limité à 20. Dans tous les cas, la longueur de la diagonale du pan de maçonnerie entre chaînages est limité à 40 fois l'épaisseur du mur. Côté extérieur, les murs peuvent être laissés apparents ou recevoir un enduit d'imperméabilisation. Les doublages intérieurs éventuels sont solidarisés au gros oeuvre par fixation mécanique sur ossature. Les parois présentant des bords libres ne sont pas visées.

Matériaux

Briques de Terre Comprimée (BTC) en Terre Crue :

Le matériau constituant les BTC peut être constitué:

- d'un sol naturel non amélioré dit « terre crue » de type argile graveleuse provenant directement de l'emprunt ;
- d'un matériau reconstitué, fabriqué par mélange d'une argile avec d'autres constituants tels qu'un dégraissant (sable) , ou un correcteur granulométrique (grave, silt) ;
- d'un matériau (naturel ou reconstitué) stabilisé par un liant hydraulique (ciment, chaux) ou par une chaux aérienne (vive ou éteinte).

Le choix du matériau dépend du type de produit à fabriquer, de l'utilisation prévue et des performances recherchées.

Les BTC peuvent présenter différentes dimensions ; les plus courantes sont :

- 29,5x14x9,5cm (en dimensions standard ; existe aussi en dimensions ¾ et ½)
- 2x22x9,5cm (en dimensions standard ; existe aussi en dimensions ½)

Les BTC peuvent également présenter des évidements ou des réservations pour la réalisation des chainages.

Mortier de recette :

Les proportions des constituants des mortiers de recette sont données dans le tableau 10 du dossier technique.

Les liants les plus couramment admis pour la réalisations des mortiers sont le ciment Portland (CEM I), le ciment Portland composé (CEM II), le ciment de haut fourneau (CEM III/A) et le ciment composé (CEM V/A) conformes aux normes NF EN 197-1 et NF EN 197-4 et le ciment à maçonner (MC) conforme à la norme NF EN 413-1 ; la chaux hydraulique (HL) conforme à la norme NF EN 459-1 ; la chaux hydraulique naturelle (NHL) ou avec ajouts (NHL-Z) conforme à la norme NF EN 459-1 ; les chaux aériennes hydratées calciques (CL) ou dolomitiques (DL) conformes à la norme NF EN 459-1.

La granulométrie du sable est de 0/2 mm à 0/4 mm avec un pourcentage de fines < à 5% Les granulats pour mortiers sont conformes à la norme NF EN 13139.

L'eau de gâchage d'un mortier doit être propre (eau claire et non acide). L'eau de gâchage doit répondre aux prescriptions de la norme NF EN 1008. L'eau potable convient pour la réalisation des mortiers.

Armature pour les chainages

Seuls les chaînages en béton armé conçus conformément aux dispositions constructives définies dans le DTU 20.1 P4, les NF EN 1996 et NF EN 1998 peuvent être utilisés. Les sections minimales de chaînages indiqués dans ces documents doivent en particulier être respectés.

Conditions d'exploitation du procédé

Les BTC sont produits à Mayotte par des briqueteries fixes ou mobiles. Pour être qualifiés, les fabricants de BTC doivent avoir mis en place un contrôle qualité tel que défini dans la partie 5.2. Contrôles qualité de production du Cahier des Charges et doivent pouvoir fournir les rapports d'essais et de contrôle garantissant la qualité des lots de blocs produits.

Les qualifications requises pour les entreprises chargées de la mise en œuvre des murs en BTC correspondent à celles requises pour une entreprise de maçonnerie et de béton armé de technicité courante.L'entreprise doit pouvoir démontrer son expérience dans l'activité de la construction en BTC et son aptitude à réaliser les contrôles en lien avec ce type de mise en oeuvre.

(1) La description complète de la technique est donnée dans le dossier déposé au CSTB par le demandeur et enregistré sous le numéro ATEx 2588, et dans la notice (cf. annexe 2 ci-après) que le fabricant est tenu de communiquer aux utilisateurs du procédé.

Le présent document comporte deux pages et deux annexes : il ne peut en être fait état qu'in extenso.

ANNEXE 2 À L'APPRECIATION TECHNIQUE D'EXPERIMENTATION
Référence ATEx de type a n°2588 du 24 mai 2018

DESCRIPTIF SOMMAIRE

Le corps du Cahier des charges comprend 99 pages.

Il est intitulé :

« Dossier technique lié à L'ATEx de type A N°2588
OUVRAGES EN MAÇONNERIE DE BTC
BLOCS DE TERRE COMPRIMÉE
parois et murs »

et daté du 24/05/2018

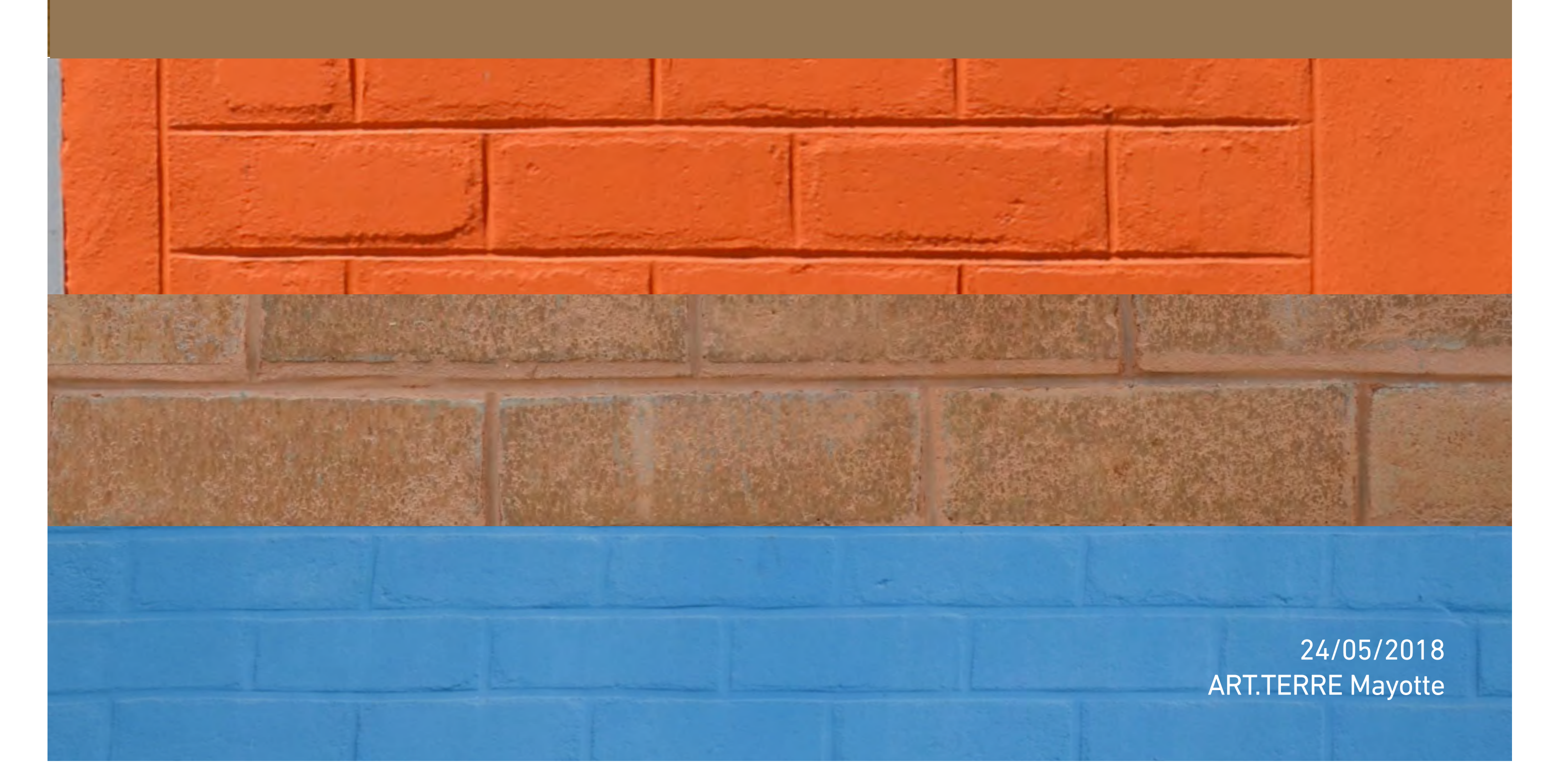
Il a été enregistré au CSTB sous le n° ATEx 2588

Le présent document comporte deux pages et deux annexes : il ne peut en être fait état qu'in extenso.

Dossier Technique lié à l'ATEx de type A N°2588

OUVRAGES EN MAÇONNERIE DE BTC
BLOCS DE TERRE COMPRIMÉE

parois et murs



24/05/2018
ART.TERRE Mayotte

Dossier Technique lié à
l'ATEx de type A N°2588

Appréciation Technique
d'Expérimentation de type A

OUVRAGES EN MAÇONNERIE DE BTC

parois et murs

24/05/2018
ART.TERRE Mayotte

RÉALISATION

ART.TERRE Mayotte
Association pour la promotion
de la construction terre à Mayotte

ÉQUIPE DE RÉDACTION

Arnaud Misse, **AE&CC**
Hugo Gasnier, **AE&CC**
Vincent Lietar, **Art.Terre**
Dominique Tessier, **Dominique Tessier & associés**
Jacques Betoux, **Art.Terre**
Jean-Marc Chastagnol, **SIM**
Marion Lalanne, **Galia Patrimoine**
Mari Mustoihi, **Art.Terre**
Soulaïmana Moussa, **Art.Terre**
Fayadhuiddine Maanli, **Art.Terre**
Nathalie de Loriol, **Mairie de Mamoudzou**
Violaine Liétar, **AR.O.M.**
Stéphane Aimé, **TAND'M architectes**
Saïd Charifou, **CAPEB 976**
Christophe Limousin, **Océane Construction**
Christel Thuret, **ADEME**
Florian Faure, **ADEME**
David Vadon, **DEAL**
Michel Piriou, **SGAR**
Pascal Maillard, **CTMNC**

Avec les contributions de :
Thierry Joffroy, **AE&CC**
Bernard Schmitt, **Vessière**
Cécile Plumier
Robert Copé

Demande d’ATEx

Appréciation Technique d’Expérimentation
de type A

OUVRAGES EN MAÇONNERIE DE BTC

parois et murs

SOMMAIRE

1 DOMAINE D'EMPLOI VISÉ PAR L'ATEX

1.1. DOMAINE D'EMPLOI & DISPOSITIONS CONSTRUCTIVES CONCERNÉES

Ce document s'applique à la construction d'ouvrage de parois et murs de bâtiments en blocs de terre comprimée (BTC) à Mayotte, pour la réalisation de parois intérieures et extérieures.
Il concerne la réalisation de murs porteurs et non porteurs en maçonnerie chaînée, et aux remplissages en maçonnerie, de type murs simples et murs avec doublage [1].

NOTE (1) type I et II au sens du NF DTU 20.1 P3

1.1.1. TYPES D'OUVRAGES

Les systèmes constructifs concernés par ce document sont :

- Les murs non porteurs de types remplissage d'une ossature
- Les murs non porteurs chaînés horizontalement et verticalement
- Les murs porteurs chaînés horizontalement et verticalement

Les dispositions constructives suivantes s'appliquent :

- Les doublages doivent être solidarisés au gros œuvre par fixation mécanique sur ossature
- Les parois présentant des bords libres ne sont pas visées

1.1.2. FONCTIONS ASSURÉES PAR LES OUVRAGES

Les fonctions assurées par les murs seuls ou associés à d'autres dispositifs concernent principalement :

- la stabilité mécanique face aux actions définies par la NF EN 1991 et ses annexes nationales (actions gravitaire, climatiques, accidentelles, sismiques)
- la résistance à la pénétration de la pluie
- la satisfaction aux exigences thermiques [1] et acoustiques ;
- la tenue au feu de la paroi.

NOTE (1) Selon la réglementation thermique en vigueur si nécessaire. Les maçonneries peuvent recevoir une isolation thermique par l'intérieur ou par l'extérieur

1.2. CLASSIFICATION DU MATÉRIAU

Pour rappel le BTC est classé suivant 3 catégories [1] :

- **BTC 20 : résistance minimale pour le fractile 0,05 $R_{min0,05}$ = 2 MPa**
- **BTC 40 : résistance minimale pour le fractile 0,05 $R_{min0,05}$ = 4Mpa**
- **BTC 60 : résistance minimale pour le fractile 0,05 $R_{min0,05}$ = 6Mpa**

On assimilera la résistance moyenne à la compression du bloc f_b à la valeur $R_{min0,05}$ tel que précisé précédemment.

Tableau 1 : tableau des résistances moyennes à la compression f_b en fonction des classes de BTC

Classe de BTC [1]	BTC20	BTC40	BTC60
Résistance moyenne à la compression f_b [2]	2 MPa	4 MPa	6 MPa

NOTE (1) Norme : AFNOR. XP P 13-901 ; Blocs de terre comprimée pour murs et cloisons : Définitions - Spécifications - Méthodes d'essais - Conditions de réception. Saint-Denis La Plaine Cedex: AFNOR, 2001.

NOTE (2) Comme précisé précédemment f_b est assimilé à $R_{min0,05}$ soit la résistance minimale défini selon la norme XP P13-901 : $R_{min0.05} \geq Rck_{0.05}$ ou $Rck_{0.05}$ est la *résistance mécanique caractéristique à la compression telle que 95% des blocs auront une résistance supérieure (fractile de 5%).*
$Rck_{0.05}$ la valeur calculée selon Annexe D de l'eurocode 0 *(EN1990) dimensionnement assisté par l'expérimentation.* .
Pour rappel, la méthode de calcul de la valeur $Rck_{0.05}$ en fonction du nombre d'échantillons est la suivante :
R_i est la valeur d'essai de compression
m_x est la moyenne des résultats d'essai R_i de n échantillon

$$Rck_{0.05} = m_x \cdot (1- k_n V_x)$$

$$s_x^2 = \frac{1}{n-1} \sum (x_i - m_x)^2$$

$$V_x = s_x / m_x$$

Tableau des valeur de k_n pour V_x inconnu et pour la valeur caractéristique de 5%

n	1	2	3	4	5	6	8	10	20	30	-
V_x inconnu	-	-	3,37	2,63	2,33	2,18	2,00	1,92	1,76	1,73	1,64

D'autre part, il est rappellé qu'aucune de valeur d'essai de compression R_i ne peut être inférieur à 80 % de cette résistance minimale : $R_i > 0.8 \times R_{min0.05}$. L'apparition de tout résultat < 0,8 fois la définition de la classe correspondante entraîne la non-conformité du lot de BTC.
Avec R_i la valeur d'essai individuelle pour compression de 2 demi blocs et joint horizontal de mortier de recette prévu.

1.3. CATÉGORIES D'IMPORTANCE DU BÂTIMENT CONSIDÉRÉ

Cette ATEx concerne l'emploi de la technique du BTC pour la réalisation de bâtiments à usage d'habitation, les bureaux, les locaux à usage commercial, les bâtiments industriels ou agricoles, les établissements recevant du public (ERP : écoles, salles de réunion, musées, bibliothèques, etc.) suivant les 3 catégories d'importance [1] suivantes :

- **de catégorie d'importance I :**
  - les bâtiments dans lesquels est exclue toute activité humaine nécessitant un séjour de longue durée et non visés par les autres catégories,

- **de catégorie d'importance II :**
  - les bâtiments d'habitation individuelle ;
  - les établissements recevant du public des 4e et 5e catégories au sens des articles R. 123-2 et R. 123-19 du code de la construction et de l'habitation, à l'exception des établissements scolaires ;
  - les bâtiments dont la hauteur est inférieure ou égale à R+4 ;
  - les bâtiments d'habitation collective ;
  - les bâtiments à usage commercial ou de bureaux, non classés établissements

recevant du public au sens de l'article R. 123-2 du code de la construction et de l'habitation, pouvant accueillir simultanément un nombre de personnes au plus égal à 300 ;
- les bâtiments destinés à l'exercice d'une activité industrielle pouvant accueillir simultanément un nombre de personnes au plus égal à 300 ;
- les bâtiments abritant les parcs de stationnement ouverts au public

- **de catégorie d'importance III , < R+4 - note de calcul obligatoire**
- les établissements scolaires ;
- les établissements recevant du public des 1ère, 2e et 3e catégories au sens des articles R. 123-2 et R. 123-19 du code de la construction et de l'habitation ;

NOTE (1) : Article R563-3 du Code de l'Environnement précisé par l'Arrêté du 22 octobre 2010 modifié

Les autres bâtiments pouvant accueillir simultanément plus de 300 personnes appartenant notamment aux types suivants :
- les bâtiments à usage commercial ou de bureaux, non classés établissements recevant du public au sens de l'article R. 123-2 du code de la construction et de l'habitation ;
- les bâtiments destinés à l'exercice d'une activité industrielle ;
- les bâtiments des établissements sanitaires et sociaux, à l'exception de ceux des établissements de santé au sens de l'article L. 711-2 du code de la santé publique qui dispensent des soins de courte durée ou concernant des affections graves pendant leur phase aiguë en médecine, chirurgie et obstétrique et qui appartiennent à la catégorie d'importance IV (non concerné par le présent document).
- les bâtiments des centres de production collective d'énergie quelle que soit leur capacité d'accueil.
  Les bâtiments dont la hauteur dépasse R+4 ne sont pas visés par le présent document.

• Les bâtiments de la catégorie IV, bâtiments sécurité civile et défense nationale, ne sont pas concernés par le présent document.

1.4. CONTRAINTES GÉOGRAPHIQUES DU LIEU D'IMPLANTATION

L'emploi de la technique du BTC concerne l'ensemble du département de Mayotte.
Son utilisation dans le territoire est dictée par les exigences :
- **Sismiques, zone 3 modérée**
- **Climatiques, zone 5 effet du vent : cyclonique et tempête tropicale**

1.4.1. ALÉA SISMIQUE

L'emploi de la technique du BTC concerne le département de Mayotte, situé en zone sismique 3 «modérée» (1).

NOTE (1) Définies selon zonage en vigueur au 1er mai 2011 / article 2 du décret 2010-1255 du 22 octobre 2010 (définie par l'article R. 563-4 du code de l'environnement).

1.4.2. LIMITATIONS D'USAGE POUR LA MAÇONNERIE PORTEUSE

- **Seuls les systèmes constructifs utilisant des maçonneries chaînées sont autorisés** (chaînages horizontaux et chaînages ou tirants verticaux).
- **L'usage en mur porteur des maçonneries chaînées est limité à des bâtiments en R+1**
- **Les BTC 20 ne sont pas autorisées en maçonneries porteuses.**
- **Les murs de bâtiments de catégorie d'importance II et plus sont réalisés en blocs de classe de résistance BTC 40 au minimum**
- **Les murs porteurs doivent présenter une épaisseur minimum de 15 cm** (épaisseur brute du mur, enduit non compris);
- **L'épaisseur minimale des murs soumis à exigences réglementaires en matière de résistance au feu est de 22 cm.** (en attente d'un éventuel PV d'extension)
- **Élancement géométrique des murs est inférieur ou égal à 15.**

Ces limitations décrites ci-dessus, résultent donc [(2)] :

- **Dans les zones 3 «modérées» :** de l'accélération sismique selon EUROCODE 8 pour les bâtiments des catégories II, III et IV. Pour les bâtiments de catégorie I : de l'application des annexes et décret nationaux.
- **Pour les catégories d'importances II et III des bâtiments**, en raison de sa faible résistance à la traction et de sa faible ductilité, la maçonnerie de BTC est considérée comme offrant une capacité de dissipation limitée, qui se traduit par un coefficient de comportement q=1,5 (article 9.3 de l'eurocode 8 chapitre 1)

Ces limitations ne dispensent pas d'une note de calcul de structure. Elle est même obligatoirement réalisée par un bureau d'études spécialisé pour les catégories de construction du type II et III.
Cette note de calcul pourra être réalisée soit :

- par calcul explicite ;
- par approche simplifiée selon Eurocode 8 clause 9.7.1 et ANF.

NOTE (2) Ces règles sont données dans les documents suivants: NF EN 1998-1 septembre 2005, NF EN 1998-3 décembre 2005, NF EN 1998-5 septembre 2005, dites « règles Eurocode 8 « accompagnées des documents dits « annexes nationales» des normes NF EN 1998-1/NA décembre 2007, NF EN 1998-3/NA janvier 2008, NF EN 1998-5/NA octobre 2007 s'y rapportant. En cas de faible et de très faible sismicité, des procédures de dimensionnement sismique réduites ou simplifiées pour certains types ou catégories de structure peuvent être utilisées.

1.4.3. LIMITATIONS D'USAGE POUR LA MAÇONNERIE NON PORTEUSE

La hauteur des bâtiment utilisant des maçonneries non porteuses est limitée à R+4.

1.4.4. ZONES CLIMATIQUES

L'emploi de la technique du BTC concerne le département de Mayotte, zone 5 effet du vent[(1)] : cyclonique

Vent de référence (NF EN 1991-1-4/NA) :
vitesse de base : 30 m/s
coefficient de direction : 1

coefficient de saison : 1
Pressions dynamiques de base (règles NV 65) :
pression normale ≤ 120 daN/m
pression extrÍme ≤ 210 daN/m

Coefficient de site : site exposé : 1,20

NOTE (1) : selon Eurocode 1 partie 4 - NF EN 1991 -1-4 - pour le vent, avec leurs annexes nationales. Le présent document énonce des recommandations à caractère général. Il appartient aux maîtres d'œuvre de vérifier que d'une part les conditions climatiques locales et d'autre part la forme du bâtiment et sa situation par rapport à son environnement proche (autres bâtiments, végétations, etc.) ne sont pas susceptibles de créer, sur tout ou partie des murs de BTC, des conditions nécessitant l'emploi de dispositifs constructifs ou de protection particulière vis à vis de l'eau, de phénomènes de condensation exceptionnels, etc. Mayotte étant située en zone littorale très exposée et en zone de cyclones et de tempêtes tropicales, il est recommandé d'être vigilant concernant l'ancrage des toitures enfin d'assurer la durabilité de l'ouvrage.

2 CONCEPTION, DIMENSIONNEMENT & DÉTAILS CONSTRUCTIFS

Il n'existe pas de solution unique pour la construction en BTC. Chaque projet architectural adaptera sa conception et ses détails constructifs en fonction du contexte dans lequel il s'inscrit et selon les attentes esthétiques, techniques et structurelles.

2.1. PRINCIPES DE CONCEPTION DE BÂTIMENTS ET D'OUVRAGES EN BTC

2.1.1. PRINCIPES STRUCTURELS

La stabilité d'une construction dépend de la bonne logique de conception du bâtiment en fonction des propriétés mécaniques du matériau et de la résistance des éléments qui composent l'ouvrage.

Sachant que la maçonnerie de BTC résiste bien en compression, mais mal en traction et en cisaillement, il faut éviter les sollicitations de flexion et limiter celles de cisaillement et de poinçonnement.
Il conviendra également de bien répartir les sollicitations, en évitant les charges trop concentrées ainsi que les charges excentrées.

On portera une attention toute particulière aux zones de concentration de contraintes.
Les fixations mécaniques pour éléments de structure ou objets lourds ne doivent pas être ancrées dans les BTC.

De ces principes généraux découle la forme couramment projetée des ouvrages en BTC, soit des murs minces, murs minces à contrefort, murs épais à forte section, ainsi qu'une géométrie simple et régulière des élévations.

2.1.2. SENSIBILITÉ À L'EAU

2.1.2.1. SENSIBILITÉ À L'EAU

Les caractéristiques mécaniques du BTC baissent sensiblement lorsque la teneur en eau du matériau augmente, (cf. norme XP P 13901) :

- Résistances à la compression réduite
- Résistance à l'abrasion plus faible
- Variations dimensionnelles

Pour assurer la pérennité de la construction il y a lieu de respecter les principes constructifs suivants qui permettront de maintenir les éléments d'ouvrage à une teneur en eau satisfaisante.

2.1.2.2. PROTECTIONS BASSE ET HAUTE DE MURS

- FONDATION : elles seront construites en matériaux non sensibles à l'eau : béton banché , béton armé , maçonnerie
- SOUBASSEMENT : il doit former un dispositif de rupture capillaire. Le soubassement aura une hauteur suffisante au dessus de sol extérieur fini pour protéger du ruissellement de surface des eaux de pluie, du rejaillissement et des projections (circulation automobile par exemple).

- COUVERTURE protégeant le haut des murs des écoulements et des infiltrations des eaux de pluie.

Dans tous les cas, le BTC sera utilisé pour l'élévation des murs en partie courante sans possibilité de rejaillissement. En plus du soubassement et de la couverture en partie haute des murs, il faudra être particulièrement attentif à la conception des éléments en retrait ou en saillies comme les appuis de fenêtre, les terrasses, balcons, corniches, consoles, etc.

Les dispositifs permettant d'assurer la protection des murs de BTC sont décrits dans la partie 2.6. dispositions constructives.

2.1.2.2. DRAINAGE

À proximité des bâtiments en BTC, il convient de prévoir d'évacuer au mieux les eaux de surface et souterraines :

- drainer les abords des fondations lorsque la topographie et les conditions hydrogéologiques le nécessitent : une ceinture de drainage assurant une bonne évacuation des eaux est essentielle ;
- empêcher les apports et la stagnation d'eau en pied de mur (descentes d'eau pluviale, VRD, etc.). Le terrain aux abords directs sera nivelé avec des pentes écartant l'eau de l'ouvrage ;
- ne pas gêner l'évaporation dans le terrain à la périphérie de l'immeuble ;

2.1.2.3. PIÈCES HUMIDES

Il est nécessaire d'aborder de manière approprié la conception des pièces où la présence d'humidité est importante (bain, douche)
Pour mémoire, la première des dispositions pour éviter la présence prolongée d'humidité est une bonne ventilation des pièces humides ainsi que celles des vides de constructions (dessous de baignoire, doublage des murs...)

Les dispositions particulières pour les pièces humides où la présence d'humidité est fréquente (douches, bain...) sont décrites à la partie 2.6.11.2

L'autorisation ou la limitation d'usage des BTC en paroi apparente des locaux est décrite en fonction du "classement des locaux en fonction de l'exposition à l'humidité des parois" [1]. Ce classement (tableau 3) prends en compte les critères d'hygrométrie des locaux, d'exposition à l'eau et d'entretien et de nettoyage.

L'usage du BTC sans protection ou revêtement de surface particulier est possible pour des locaux ou espaces :

- à hygrométrie de faible à forte ($W/n \leq 7,5\ g/m^3$)[2]
- où l'exposition à l'eau correspond à des projections et des ruissellements épisodiques
- où L'eau intervient seulement pour l'entretien et le nettoyage, mais jamais sous forme d'eau projetée sous pression. Le nettoyage est réalisé selon des méthodes et avec des moyens non agressifs.

L'usage du BTC en mur apparent est donc permis dans les locaux classés EA (locaux secs ou faiblement humides) ou EB (locaux moyennement humides)

Les parois en BTC dans des locaux classés EB+ locaux privatifs doivent être systématiquement protégées par un doublage réalisé conformément à l'une des dispositions décrites au § 2.6.11.2.

L'utilisation du procédé pour des locaux classés EB+ collectifs ou EC n'est pas visée par la présente ATEx.

Dans tous les cas, l'attention du maître d'ouvrage sera attirée sur les conditions d'entretien des murs apparents en BTC et des éléments contigus qui ne doivent pas être nettoyés par utilisation d'eau sous pression(3).

Les nettoyages réguliers ne devront pas non plus s'effectuer avec des produits agressifs (alcalins, acides chlores, ...) et avec de l'eau d'une température supérieur a 40 °C.

NOTE (1) Classement des locaux humides - Cahier 3567 - Cahier du CSTB - mai 2006
NOTE (2) W/n ou W est la quantité de vapeur d'eau produite à l'intérieur d'un local par heure, exprimée en grammes par heure (g/h) et n le taux horaire de renouvellement d'air exprime en mètres cube par heure (m^3/h)
NOTE (3) occasionnellement un nettoyage au jet des BTC stabilisés peut être effectuer, mais il est absolument proscrit d'utilisé un jet d'eau sous pression supérieure à 10 bar.

2.1.3. SOLLICITATIONS À L'ABRASION

Dans les cas d'utilisation courante, les murs ne sont pas soumis à des risques d'abrasion élevés. Les BTC présentent une résistance à l'abrasion suffisante pour un usage en mur et cloison subissant une sollicitation normale.

Dans le cas où une sollicitation supérieure est exigée, les blocs peuvent être soumis au préalable à un essai de résistance à l'abrasion selon les modalités de la norme XP P 13-901, et vérifier que le coefficient d'abrasion minimal de 5 cm^2/g est atteint.

Dans le cas contraire, où aucun essai n'a été réalisé ou encore si le coefficient minimal n'est pas atteint, il faut prévoir des protections mécaniques des parties sensibles des parois en parties courantes, ainsi qu'au niveau des encadrements des ouvertures.

Tableau 2 : Classement des locaux en cours d'exploitation en fonction de leur hygrométrie, du degré d'exposition à l'eau d'au moins une paroi, son entretien et son nettoyage - Cahier 3567 - Cahier du CSTB - mai 2006

Types de local	Hygrométrie du local	Exposition à l'eau	Entretien – nettoyage	« Exemples » de classement minimal de locaux
EA Locaux secs ou faiblement humides	Faible hygrométrie	Les parois ne sont pas exposées a l'eau.	L'eau intervient seulement pour l'entretien et le nettoyage, mais jamais sous forme d'eau projetée. Nettoyage réalisé selon des méthodes et avec des moyens non agressifs.	Locaux normalement ventiles et chauffés : • Chambres ; • Locaux de bureau ; • Couloirs de circulation.
EB Locaux moyennement humides	Hygrométrie moyenne	En cours d'exploitation du local, l'eau intervient ponctuellement sous forme de rejaillissement sans ruissellement.	L'eau intervient pour l'entretien et le nettoyage, mais jamais sous forme d'eau projetée sous pression. Nettoyage réalisé selon des méthodes et avec des moyens non agressifs.	Locaux normalement ventiles et chauffés : Locaux a usage collectif : • Salles de classe ; Locaux a usage privatif : • Local avec un point d'eau (cuisine, W.C., ...) ; • Celliers chauffes ; • Cuisines privatives.
EB+ Locaux privatifs Locaux humides à usage privatif	Forte hygrométrie	En cours d'exploitation du local, l'eau est projetée épisodiquement sur au moins une paroi (ruissellement).	L'eau intervient pour l'entretien et le nettoyage, mais jamais sous forme d'eau projetée sous pression. Nettoyage réalisé selon des méthodes et avec des moyens non agressifs.	Locaux normalement ventiles et chauffés : • Salles d'eau intégrant un receveur de douche et / ou une baignoire ; • Celliers non chauffes, garages ; • Cabines de douche ou salles de bains a caractère privatif dans des locaux recevant du public : douches dans les hôtels, les résidences de personnes âgées et dans les hôpitaux ; • Bloc W.C. et lavabos dans les bureaux.
EB+ Locaux collectifs Locaux humides à usage collectif	Forte hygrométrie	En cours d'exploitation du local, l'eau intervient sous forme de projection ou de ruissellement et elle agit de façon discontinue pendant des périodes plus longues que dans le cas EB+ privatifs, le cumul des périodes de ruissellement sur 24 h ne dépassant pas 3 heures.	L'eau intervient pour l'entretien et le nettoyage. Ce type de locaux est normalement lavé au jet : des dispositions d'évacuation d'eau au sol doivent être prévues (exemple siphon de sol). Le nettoyage au jet d'eau sous pression supérieure a 10 bars est exclu. Le nettoyage (fréquence généralement quotidienne) est réalisé avec des produits de pH entre 5 et 9 a une température ≤ 40 °C.	• Douches individuelles a usage collectif dans des locaux de type : internats, usines ; • Vestiaires collectifs sauf communication directe [1] avec un local EC ; • Offices, local de réchauffage des plats sans zone de lavage ; • Salles d'eau a usage privatif avec un jet hydro-massant dans le receveur de douche et/ou la baignoire ; • Laveries collectives n'ayant pas un caractère commerciale (école, hôtel, centre de vacances, ...) ; • Sanitaires accessibles au public dans les locaux de type ERP : école, hôtels, aéroports, ...
EC Locaux très humides en ambiance non agressive	Très forte hygrométrie	L'eau intervient de façon quasi continue sous forme liquide sur au moins une paroi.	Le nettoyage au jet d'eau sous haute pression est admis. Le nettoyage (fréquence généralement quotidienne) peut être réalisé avec des produits agressifs (alcalins, acides chlores, ...) et/ou a une température ≤ 60 °C. Les revêtements de finition des parois du local et les interfaces (mastic, garniture de joints, ...) doivent être compatibles avec l'agressivité des produits d'entretien (pH), du nettoyage (pressions des appareils) et de la température.	• Douches collectives, plusieurs personnes a la fois dans le même local : stades, gymnases, ... ; • Cuisines collectives [2] et sanitaires accessibles au public si nettoyage prévu au jet d'eau sous haute pression et/ou avec produit agressif ; • Laveries ayant un caractère commercial et destinées a un usage intensif ; • Blanchisseries centrales d'un hôpital ; • Centres aquatiques, balnéothérapies, piscines (hormis les parois de bassin) y compris locaux en communication directe avec le bassin.

Usage non autorisé

1 Communication directe = absence de séparation (porte ou cloison).
2 Si les Documents Particuliers du Marche prévoient une utilisation dont les attendus sont conformes aux conditions des locaux EB+ collectifs, il est possible de déclasser la cuisine en EB+ collectifs.

2.2. PRINCIPES DE MAÇONNERIE EN BTC : BLOCS, APPAREILLAGE ET CALEPINAGE DES PLANS

2.2.1. TYPE DE BTC

A. FORMES DES BTC

Les blocs de terre comprimée sont des petits éléments de maçonnerie de forme parallélépipédique dont les dimensions diffèrent selon les types de presses et les moules utilisés. Les produits obtenus peuvent être extrêmement variés cependant la tradition de production des blocs de terre comprimée a adopté des dimensions permettant de réaliser des murs de 15, 30 ou 45 cm d'épaisseur.

Les BTC sont de forme générale parallélépipédique. Les produits les plus couramment produits sont :

- les blocs dits " courants", qui sont utilisés pour constituer les parties pleines des murs ou des cloisons. Les blocs courants peuvent être entiers ou partiels (¾ ou ½). Ce sont des blocs pleins.
- Les blocs "accessoires", qui sont de formes ou de structures internes différentes de celles des blocs courants auxquels ils sont associés. Généralement ils présentent un évidement plus ou moins important pour la réalisation de points particuliers de la maçonnerie tels que : chaînage vertical, linteau, etc. Exemples : blocs d'angle, blocs de chaînage, blocs feuillure, blocs linteau, blocs poteau, etc.
- Les blocs dits "de parement", qui sont des blocs dans lesquels la ou les faces vues sont réalisées de manière à constituer le parement fini du mur. Il s'agit également de blocs pleins.

Les BTC peuvent être classés dans le groupe 1, Éléments pleins ou constitués de trous de faible importance selon l'eurocode 6 [(1)].

NOTE (1) : tableau 3.1 de l'eurocode 6 - groupe 1 : bloc dont le pourcentage de volume des alvéoles (trous, réservation, évidemment...) est inférieur à 25 %.

B. DIMENSIONS

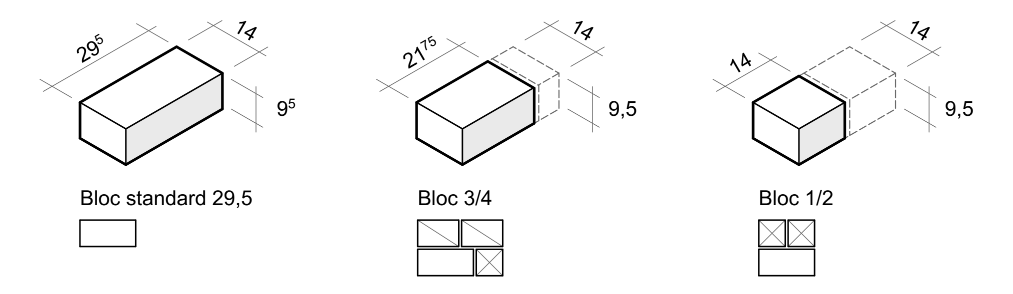
Les blocs courants de BTC les plus souvent utilisés sont de dimension 29,5 x 14 x 9,5 cm et 22 x 22 x 9,5 cm. Ils permettent la réalisation de quatre types de parois dont les plus courantes sont :

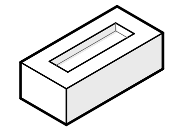
- Parois de type A : 9,5cm / blocs maçonnés sur chant
- Parois de type B : 14cm / blocs maçonnés en panneresse
- Parois de type C : 22cm / blocs carrés 22x22
- Parois de type D : 29,5cm / blocs maçonnés en boutisses

Le BTC permet également la réalisation de parois plus épaisses, dont les épaisseurs correspondent à un multiple des dimensions des blocs : 45 cm, 60,5 cm, etc.

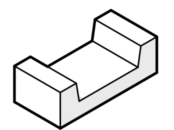
Les maçonneries de BTC sont appareillées avec des bloc entiers, ¾ et ½.

Il est proscrit d'utiliser des bloc de dimension inférieure au ½ bloc.

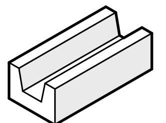




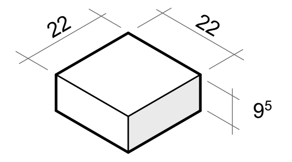
Bloc à évidements



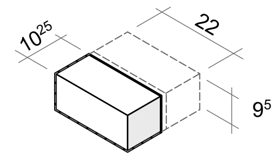
Bloc à évidements
pour chaînage



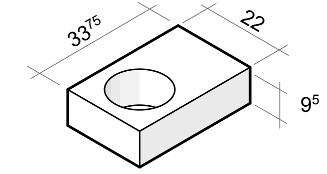
Bloc à évidements
pour chaînage



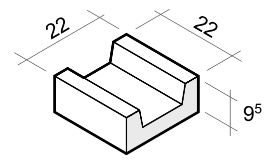
Bloc standard 22



Bloc 1/2



Bloc à réservation
pour chaînage



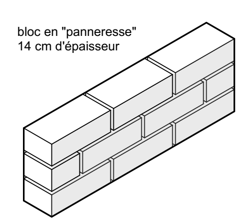
Bloc à évidements
pour chaînage

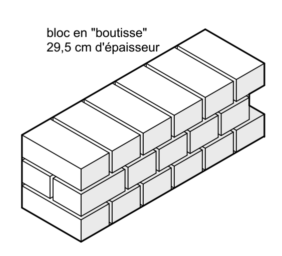
2.2.2. APPAREILLAGE

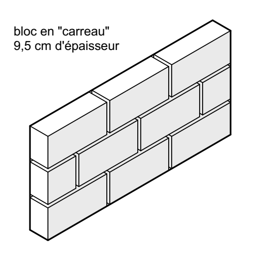
Le terme "appareillage" désigne le mode d'arrangement, d'assemblage et donc de liaison des blocs de terre comprimée entre eux, dans toutes les directions d'une structure en maçonnerie (plan horizontal et vertical, épaisseur du mur).
Les dispositions de l'appareillage déterminent la position de chacun des blocs de terre, d'une assise à l'autre et servent notamment à éviter ce que l'on nomme un "coup de sabre" résultant de la superposition ou de la trop grande proximité de deux joints verticaux qui risque de favoriser la propagation de fissures structurales.
L'appareillage des blocs doit donc se faire impérativement à joints verticaux décalés d'une rangée sur l'autre pour garantir un comportement monolithique de la maçonnerie.
Le rôle de l'appareillage est essentiel pour garantir la cohésion, la stabilité et la résistance d'une structure en maçonnerie de petits éléments jointoyés au mortier.

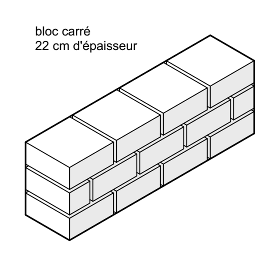
La logique d'appareillage et la rigueur dans la conception du projet entraîne une simplicité de réalisation.

Le choix d'un appareillage doit être déterminé avant la mise en œuvre de la maçonnerie et dépend de cinq facteurs que l'on doit considérer ensemble :
1 - du type de structure (mur, remplissage, pilier, autre),
2 - de la taille de la structure,
3 - de la dimension des blocs de terre comprimée,
4 - de la qualification des maçons (degré de complexité adapté),
5 - de l'effet esthétique recherché sur l'aspect fini du parement de l'ouvrage.





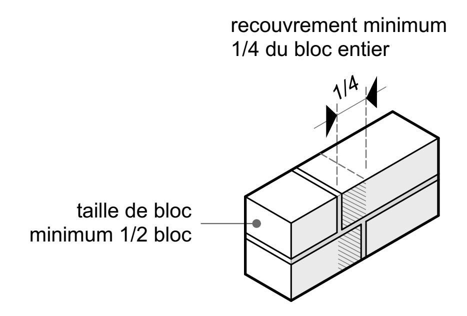




2.2.3. RECOUVREMENT MINIMUM

En dehors des joints de fractionnement, les joints alignés verticalement sont proscrits d'une assise sur l'autre

Le décalage des joints verticaux d'une assise à l'autre doit toujours être au minimum égal au 1/4 de la longueur du bloc entier.



NOTE : dans tous les cas il convient d'appliquer les règles de recouvrement données par l'EC6. Dans ce cas, le recouvrement des éléments de maçonnerie ayant une hauteur inférieure ou égale à 250 mm doit être au minimum égal à 0,4 fois la hauteur de l'élément ou 40 mm. On choisira alors, selon les résultats obtenus (EC6 ou règle 3.2.3 ci-dessus - 1/4 de la longueur du bloc entier), la plus grande des trois valeurs.

2.2.4. CALEPINAGE DES PLANS

Le "calepinage" désigne la planification de la disposition des blocs sur un plan ou une élévation. Cette étape est obligatoire dans la conception d'un édifice en maçonnerie de BTC.
Afin d'identifier les problèmes de superposition des joints verticaux, il est conseillé de réaliser les plans :

- des deux premières assises ;
- des deux assises aux dessus du niveau des ouvertures ;
- des assises particulières.

le calepinage permet de déterminer avec précision :

- la manière dont les blocs sont disposés (notamment pour prendre en compte les cas particuliers tels que les angles, les jonctions, les baies) ;
- les types de blocs nécessaires (entier, ½, ¾) ;
- le nombre de blocs de chaque type.

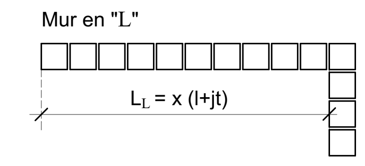
Longuer L des murs suivant leur forme

x : nombre de demi-bloc
l : longueur du demi-bloc
jt : épaisseur du joint

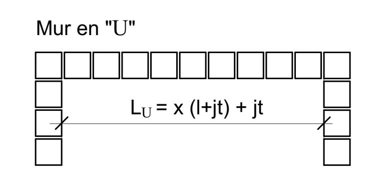
Mur Droit "I"

$L_I = x\,(l+jt) - jt$

Mur en "L"



Mur en "U"

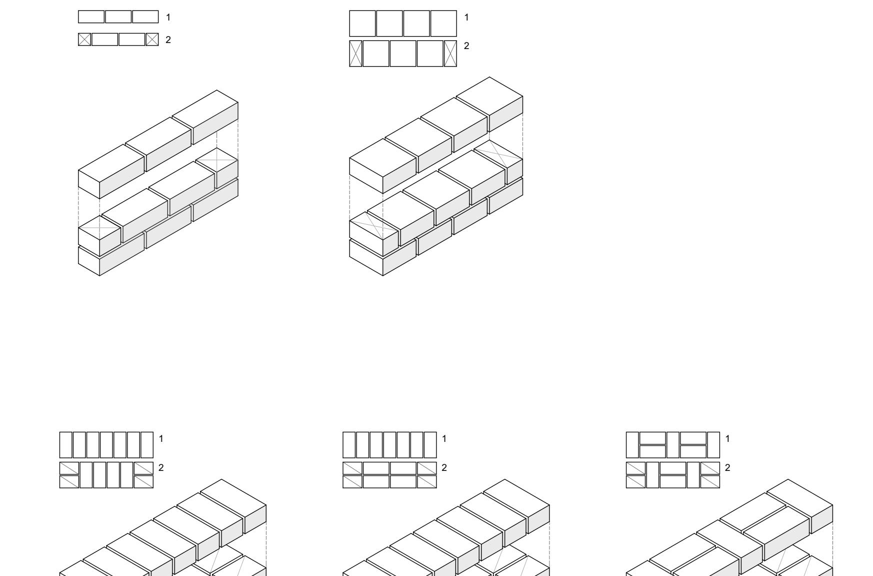


2.2.5. EXEMPLES D'APPAREILLAGE

Il existe un multitude de types d'appareillages, les exemples ci-dessous sont donnés à titre indicatif mais de très nombreuses autres configurations sont possibles.

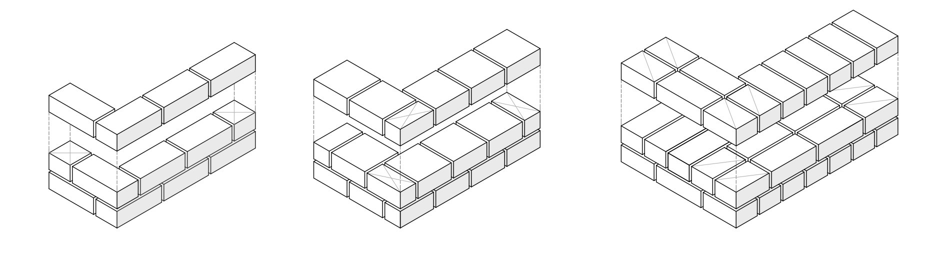
A. MUR DROIT SIMPLE ET DOUBLE ÉPAISSEUR

(les schémas présentés ci-dessous ne figure pas les chaînages verticaux qui sont nécessaires aux niveaux des bords libres des murs)



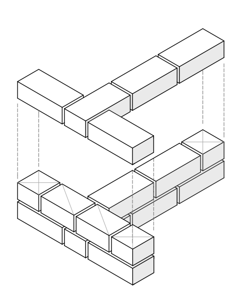
B. ANGLES DE MUR SIMPLE ET DOUBLE ÉPAISSEUR DE BTC

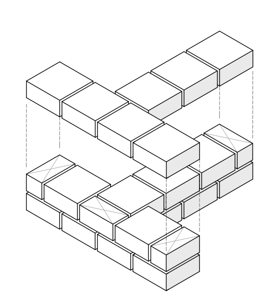
(les schémas présentés ci-dessous ne figure pas les chaînages verticaux qui sont nécessaires aux jonctions entre murs)

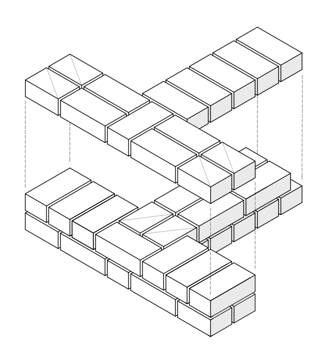


C. MUR EN T

(les schémas présentés ci-dessous ne figure pas les chaînages verticaux qui sont nécessaires aux jonctions entre murs)

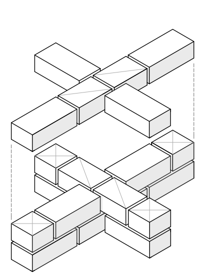


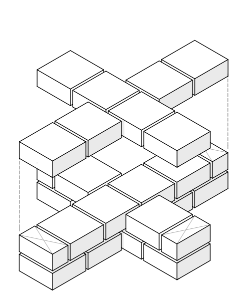


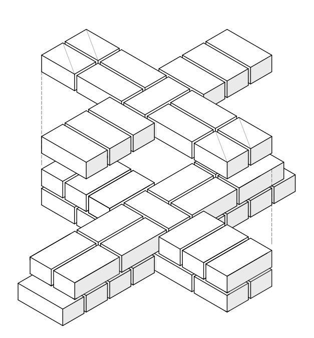


D. CROISEMENT DE MURS

(les schémas présentés ci-dessous ne figure pas les chaînages verticaux qui sont nécessaires aux jonctions entre mur)







2.3. DIMENSIONNEMENT DES PAROIS

2.3.1. ÉPAISSEUR DES PAROIS

La dimension des blocs courants de BTC permettent la réalisation de parois de différentes épaisseurs.
L'épaisseur minimale [1] des murs porteurs en BTC ne doit pas être inférieure à 15 cm toutes classes de BTC confondues [2].

NOTE (1) L'épaisseur considérée est l'épaisseur brute des parois en blocs de terre comprimée, les enduits et revêtements de surface ne sont pas pris en compte dans ladite épaisseur.
NOTE (2) Compte-tenu de l'élancement géométrique maximal de 15 pour les murs porteurs, les murs porteurs de hauteur d'étage courant sont réalisés avec des blocs d'épaisseur supérieure à 15 cm.

2.3.2. LONGUEUR MINIMALE

la longueur des trumeaux porteurs doit être au moins égale à 60 cm ou 2 fois la longueur de l'élément de maçonnerie, en retenant comme valeur minimale la plus grande de ces deux valeurs.

Les murs et éléments de murs formant des trumeaux inférieurs à cette dimension ne peuvent pas être considérés comme porteurs. Dans le cas contraire, une justification par une note de calcul spécifique de l'élément est indispensable

2.3.3. LONGUEUR MAXIMALE

Quelle que soit la classe de BTC considérée et quelle que soit la hauteur des ouvrages, la longueur libre maximale des murs entre bords libres, joints de retrait, murs de refends ou contreforts doit être égale à :
$(26 \times (t_f + 1,5))+1,5$
ou t_f est l'épaisseur du mur en cm [1]

- Soit pour un mur de 14 cm une longueur maximum de 404,5 cm
- Soit pour un mur de 22 cm une longueur maximum de 612,5 cm
- Soit pour un mur de 29,5 cm une longueur maximum de 807,5 cm

NOTE (1) La longueur maximale d'un mur en BTC sert à prévenir les risques de fissuration des ouvrages liés au retrait du matériau lors de la phase de séchage. Au-delà des valeurs énoncées au paragraphe 3.2.3 une étude spécifique du retrait du matériau doit être effectuée. Ce dimensionnement limite est le résultat du retour expérience concernant le comportement des parois en BTC. Il est la corrélation entre différentes enquêtes de terrain (cf. rapport de traitement des enquêtes MAYOTTE, enquêtes 98 sur l'habitat, CRA-terre-ENSAG, décembre 1999 / 398 constructions en BTC enquêtées) et la consultation de l'ensemble des professionnels mahorais de la construction (producteurs, maçons, maîtres d'oeuvre, maîtrises d'ouvrage, organismes de contrôle,)

2.3.4. ÉLANCEMENT ET HAUTEUR MAXIMUM DES MURS

Sans étude particulière de structure, il pourra être appliqué les règles suivantes :
Quelle que soit l'épaisseur des murs et toutes classes de résistance confondues (BTC 20 à 60), les hauteurs maximales des murs sont définie par le coefficients d'élancement [1] ci-après :

Dans le cas d'un mur porteur, tenu en tête par un système de plancher ou de

chaînage[2], le coefficient l'élancement des murs est tel que de $h_f / t_f \leq 15$ avec h_f hauteur du mur et t_f épaisseur du mur [3]

Dans le cas d'un mur de remplissage non chargé mais tenu en tête, le coefficient l'élancement des murs est tel que de $h_f / t_f \leq 20$

La longueur de la diagonale, en élévation, du pan de maçonnerie ne sera pas supérieure à **40 fois l'épaisseur du mur (40 x t_f)**

NOTE (1) L'élancement est le rapport entre la distance verticale entre planchers, et l'épaisseur brute du mur porteur. Les valeurs maximales d'élancement données par l'EUROCODE 6 sont de 27, dans cette ATEx, les valeurs sont volontairement plus faibles par retours d'expériences.
NOTE (2) La conception de murs porteurs en BTC impose, dans tous les cas, de répartir sur la plus grande surface possible du mur la charge des planchers (voir partie 2.6.3.). Il n'est donc pas fait de distinction ici entre les différents systèmes d'appuis des planchers sur le mur, au sens de l'EN 1996-1-1:2004.
NOTE (3) Dans tous les cas, il convient de considérer que h_f =h (h étant la hauteur réelle du mur) et tf = t (t étant l'épaisseur réelle du mur).
Les situations extrêmes ou les charges seraient fortement excentrées sont à éviter. Dans le cas contraire, le recours à une vérification par une note de calcul de structure est indispensable.

2.3.5. CALCUL DE LA RÉSISTANCE À LA COMPRESSION

Résistance moyenne à la compression f_b du bloc perpendiculairement à la face de pose.

La résistance du bloc f_b peut être déterminée directement par des essais sur bloc selon NF EN 772-1 ou conformément à la norme XP P 13901.
Comme défini à la partie 1.2 classification du matériau, la valeur f_b est assimilé à la valeur de la résistance minimale $R_{min0,05}$ défini selon la norme XP P13-901, ce choix est effectué dans une hypothèse conservatrice.

Le BTC est classé suivant les 3 catégories de résistance f_b [1] suivante (rappel de la partie 1.2. Classification du matériau)**:**

- **BTC 20 : résistance minimale en compression sèche = 2 Mpa**
- **BTC 40 : résistance minimale en compression sèche = 4 Mpa**
- **BTC 60: résistance minimale en compression sèche = 6 Mpa**

Résistance caractéristique à la compression f_m du mortier

Le mortier est un matériau plein isotrope.
La résistance du mortier f_m peut être déterminée directement par des essais sur un échantillon de mortier ou prise selon les valeurs de performance des mortiers recette sable/liant (voir partie 4.2.3.1. Mortier sable - liant)

Résistance caractéristique à la compression f_k de la maçonnerie sous charge verticale

Résistance caractéristique à la compression f_k de la maçonnerie peut

- être déterminée directement par des essais sur murets.
- être déterminée selon les valeurs tabulées du tableau suivant

Tableau 3 : Résistance caractéristique à la compression fk de la maçonnerie

f_k (MPa)		Résistance à la compression du mortier de recette f_m (MPa)		
		2,5	5	8
Type de BTC	BTC20	0,97		
	BTC40		1,93	2,22
	BTC60		2,56	2,95

Pour les murs susceptibles d'être humidifiés en service tels que les murs de façades non revêtus côté extérieur par un revêtement d'imperméabilisation, la résistance caractéristique en compression à prendre en compte dans les calculs doit être divisée par 2 par rapport à celle indiquée au tableau 3

Résistance à la compression de calcul Rcd

Le calcul de la résistance à la compression *R*cd en partie courante d'une paroi porteuse en BTC soumise à un chargement vertical prépondérant s'obtient en divisant la résistance caractéristique à la compression f_k par un coefficient de sécurité **γM_{BTC}.** [1]

$$Rcd = f_k / \gamma M_{BTC}$$

et $\gamma M_{BTC} = \gamma m1 \times \gamma m2 = 3{,}3$

NOTE (1) La valeur γm1 x γm2 = 3,3 correspondent à γM pris à sa valeur maximale de référence issue de l'Eurocode 6, calcul des ouvrages en maçonnerie. Elle tient compte de la dispersion des résistances du matériau et de l'exécution.

L'application du coefficient de sécurité γM_{BTC}, permet de calculer la contrainte de compression de calcul en partie courante d'une paroi porteuse, ce qui ne dispense pas de vérifier que les contraintes localisées restent admissibles.

γM est le coefficient partiel de matériau qui dépend du système qualité mis en place, il peut varier de 2,7 ou 3,3 (voir partie 4.1 tableau 17)

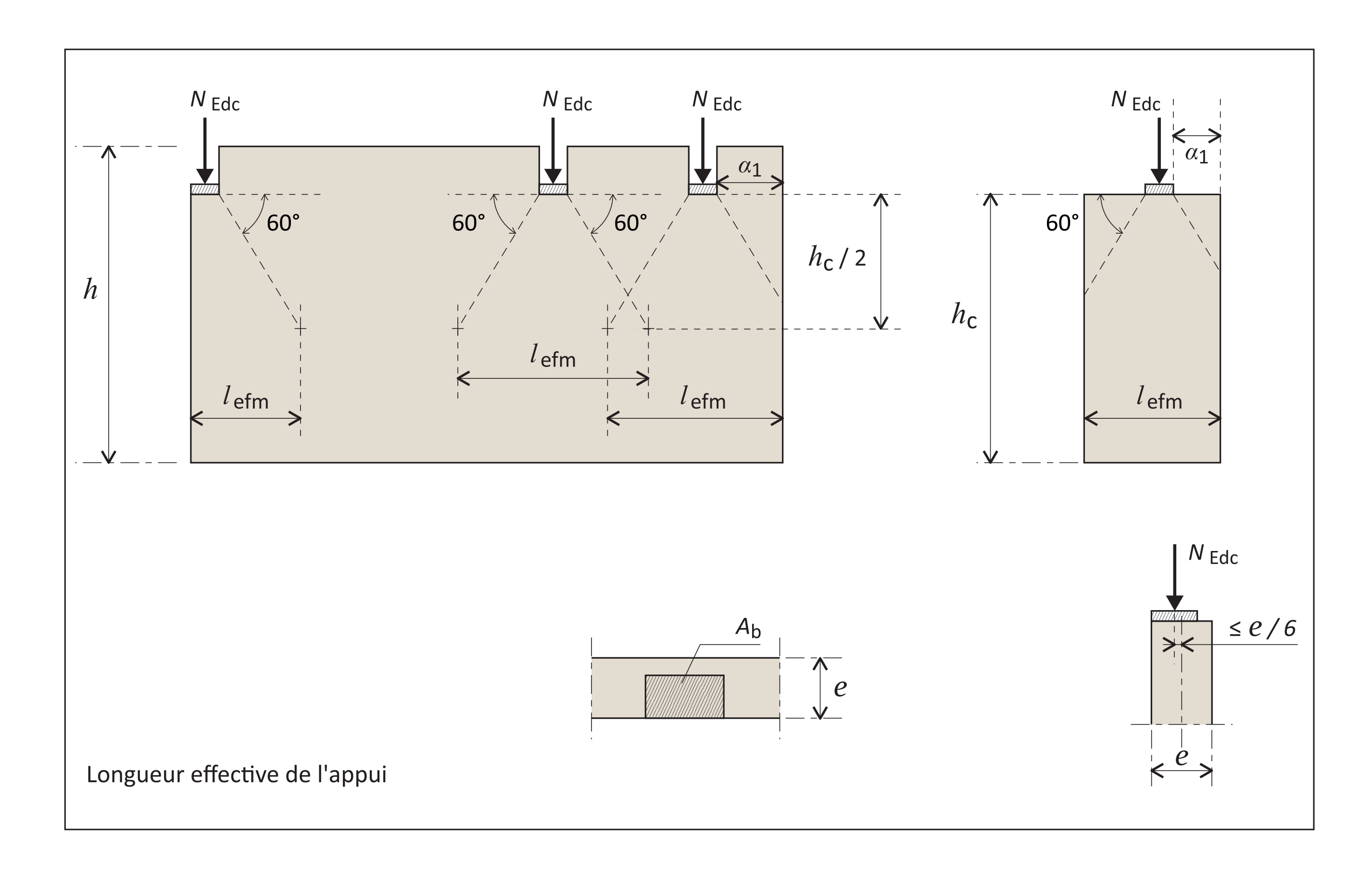
La valeur de γM_{BTC}, peut évoluer en fonction des niveaux de contrôle mise en place au niveau de la production et de l'exécution. Voir partie 5.1 tableau 17

A l'état-limite ultime, la valeur de calcul de la charge verticale appliquée à un mur de maçonnerie, N_{Ed}, doit être inférieure ou égale à la valeur de calcul de la résistance aux charges verticales du mur, N_{Rd}, de sorte que :

$$N_{Ed} \leq N_{Rd}$$

La valeur de calcul de la résistance aux charges verticales d'un mur, soumis à des charges centrées, par unité de longueur, N Rd, est donnée par l'équation suivante :

$$N_{Rd} = \Phi \times t_f \times R_{cd}$$



Avec

t_f = l'épaisseur du mur

Φ est le coefficient de réduction, Φ_i , au niveau de la partie supérieure ou inférieure du mur, ou Φ_m , au niveau du centre du mur, selon le cas, permettant de prendre en compte les effets de l'élancement et de l'excentricité des charges dont le calcul s'effectue suivant l'article 6.1.2.2 de l'EC6.

2.4. FONCTIONS ASSURÉES PAR LA PAROI

2.4.1. RÉSISTANCE À LA PÉNÉTRATION DE LA PLUIE

Le type de parois ainsi que le revêtement extérieur des façades en BTC offre un niveau de protection indiqué dans le tableau 7.

Tableau 4 : tableau type de parois admis en fonction de leur composition, *d'après DTU 20.1 P3*

Type I	Type II
Paroi simple	Paroi avec doublage
EXT INT	EXT INT

Tableau 5 : Classification des parois en fonction de la protection aux intempé-ries

Type de parois	Caractéristiques	Classe (du moins protecteur au plus protecteur)
Parois type I	Épaisseur de 14 cm à 20 cm non revêtue côté extérieur	**1 a**
Parois type I	Épaisseur > 20 cm non revêtue côté extérieur	**1 b**
Parois Type II	Tous types de parois avec doublage - Non revêtue côté extérieur	**2**
Parois Type I ou II	tous types de parois - avec revêtement d'imperméabilisation côté extérieur	**3**

En fonction de l'exposition des parois (tableau 6) des recommandations de réalisation sont présentées dans le tableau 7

Tableau 6 : Typologie d'exposition des parois aux intempéries

Typologie d'exposition	Définition de la parois
Abritée	Opposée aux vents fréquemment chargés de pluie
	Parallèle aux vents de pluie dans les régions où ceux-ci ont une direction bien déterminée et dont le débord de toiture ou encorbellement représentent au minimum 1/5 de la hauteur du mur qu'ils protègent
	Exposée aux vents de pluie mais abritée par un balcon , loggia, coursive, encorbellement ou débord de toiture et dont la hauteur est au maximum de deux fois la profondeur de l'abris
	Exposée aux vents de pluie mais protégée par un masque permanent (autre bâtiment, murs, murets, collines, etc.) situé à moins de 30 m et dont la hauteur est égale ou supérieur à la paroi ou la partie de la paroi qu'ils protègent
Semi-abrité	Parallèle aux vents de pluie dans les zones où ceux-ci ont une direction pouvant s'écarter au maximum de 45° de part et d'autre du vent chargé de pluie dominant et dont le débord de toiture ou encorbellement représente au minimum 1/5 de la hauteur du mur qu'ils protègent
Exposée	Ni abrité, ni semi-abrité

Tableau 7 : Catégories de parois extérieures recommandées en fonction des expositions des façades et de la situation des bâtiments

exposition de la façade	classes autorisées
Abritée	**1,2,3**
Semi abritée	**1b,2,3**
Exposée	**3**

L'utilisation de mur simple, de type 1a, en maçonneries apparentes, en 14 cm d'épaisseur, ou 1 b, en maçonnerie de 22cm d'éapisseur, est autorisée pour la réalisation de façades de bâtiments pour lesquels en particulier les exigences d'étanchéité peu contraignantes s'accommodent notamment de l'apparition ponctuellement de trace d'humidité en parement intérieur.

2.4.2. RÉACTION AU FEU

Le BTC est composé uniquement d'éléments minéraux, il est donc considéré comme un matériau incombustible.
Un ouvrage de maçonnerie en BTC est classé en catégorie A1(1) ou M0(2).

NOTE (1) : sans essai préalable, suivant la norme européenne EN 13-501-1 (Euroclasse) ou Arrêté du 13 août 2003 - art. 1
NOTE (2) : sans essai préalable, Selon classements conventionnels de l'annexe 3 de l'Arrêté du 21 novembre 2002 relatif à la réaction au feu des produits de construction et d'aménagement.

2.4.3. RÉSISTANCE AU FEU

Un mur porteur de BTC 40 de 22 cm d'épaisseur est classé REI 180 (1), soit une stabilité au feu, une étanchéité au feu et un degré coupe feu de 3 heures (180 minutes) (2).

NOTE (1) : Les euroclasses de résistance au feu sont décrites par catégories telles que :
R : résistance mécanique ou stabilité
E : étanchéité aux gaz et flammes
I : isolation thermique (forcément utilisée en complément d'une classification R ou E)
Stabilité, étanchéité (pare-flamme) et isolation (coupe-feu) au feu sont donc assurées pendant 180 minutes minimum selon euroclasses de résistance au feu.

NOTE (2) : voir procès verbal d'essai Efectis France en annexe : rapport d'essai de résistance au feu n°EFR 17-J-002204 - réalisé selon EN 1363-1 : 2012 et 1365-1 : 2012. Charge appliquée 196 kN/ml

2.4.4. PERMÉABILITÉ À LA VAPEUR D'EAU ET CONDENSATION

2.4.4.1. GÉNÉRALITÉS

Le facteur de résistance (1) à la vapeur d'eau μ du BTC est au maximum de 15
soit une valeur S_d de :
2,1 pour une paroi de 14 cm d'épaisseur
3,3 pour une paroi de 22 cm d'épaisseur
4,4 pour une paroi de 29,5 cm d'épaisseur

Le BTC est utilisé principalement en paroi simple (monocouche) sans ajout d'isolation rapportée (intérieure ou extérieure). Les caractéristiques du BTC tant en résistance à la vapeur d'eau que de capacité de transport capillaire et de sorption/désorption sont telles que dans des cas d'usage courant autorisé (voir partie 3.1.2.3. Pièces humides) le risque de condensation d'eau, humidité superficielle critique et condensation dans la masse, est quasi inexistant(2). En effet, à Mayotte les différences de températures et d'humidités de l'air entre l'intérieur et l'extérieur sont faibles et les locaux très ventilés. De plus le climat de Mayotte ne présente pas de périodes de froid intense et prolongées.

NOTE (1) : MOEVUS, Mariette, FONTAINE, Laetitia, ANGER, Romain, DOAT, Patrice, 2013. Projet : Béton d'Argile Environnemental (B.A.E.) Rapport final. Paris : France, ministère de l'écologie, du développement durable et de l'énergie. 877 p.
NOTE (2) : Plusieurs calculs suivant la méthode de Glaser ont été menés et aucun n'a mis en évidence un problème de condensation sur une paroi simple "monocouche"

2.4.4.2. LOCAUX CLIMATISÉS

En cas d'usage de la climatisation, la vapeur d'eau diffuse dans ce cas de l'extérieur vers l'intérieur.
Pour une paroi simple (non isolée) la zone de risque de condensation se trouve

potentiellement à proximité du côté extérieur de la paroi. Cette surface étant naturellement ventilée le risque est faible.
Le risque de condensation est d'autant plus limité que la température de consigne est supérieure ou égale à 23 °C avec une climatisation soufflant de l'air à 90 % d'humidité relative. Les risques augmentent et s'avèrent d'autant plus élevés que le climat extérieur est chaud (plus de 30°c) et humide (plus de 90%) et la température de consigne, basse. Le risque est cependant à modérer en raison du caractère fortement hygroscopique du matériau.

En cas d'isolation, si celle-ci est placée à l'intérieur - ce qui peut être un choix préférentiel pour des locaux climatisés à Mayotte - le risque de condensation est encore présent mais très limité avec des matériaux perméables. Il n'apparaît que dans des cas très exceptionnels, difficiles à imaginer dans des conditions normales d'utilisations (1).

Cependant, dans tous les cas, la présence d'un pare-vapeur, ou d'une couche interstitielles imperméables qui pourraient être intégrées à la paroi, est à proscrire, car elle favorise le risque de condensation entre l'isolant et le pare-vapeur.

Afin d'éviter tout risque de condensation dans le complexe mur-isolation il convient de respecter une valeur de Sd décroissante des différentes couches (du moins perméable au plus perméable vers l'intérieur).

Il est conseillé que l'isolation intérieure et son éventuel revêtement ou doublage soient perméables à la vapeur d'eau, c'est-à-dire tels que leur résistance totale à la diffusion de la vapeur d'eau Sd soit faible, et que leur résistance totale à la diffusion de la vapeur d'eau Sd soit inférieure à 0,4.

Si nécessaire, un calcul selon la méthode de Glaser(2) (ou équivalent) pourra être effectué pour vérifier du bon comportement d'une composition de paroi.

NOTE (1) : La condensation dans la paroi apparaît pour des conditions climatiques extérieures contraignantes et des consignes de climatisation très basses. Les différents calculs menés suivant la méthode de Glaser montre une apparition des risques dans une paroi constitués de BTC de 22 cm, de 10 cm d'isolation type laine de roche et d'un parement intérieur en plaque de platre (BA13) pour un air extérieur très chaud et humide (plus de 35°c et une l'humidité relative de l'air à plus de 95%) - et une ambiance intérieure très froide inférieure à 13 °c pour un taux humidité relative élevé, de l'ordre de 95%).

NOTE (2) calcul à réaliser suivant NF EN ISO 13788

2.5. TOLÉRANCES DIMENSIONNELLES

2.5.1. TOLÉRANCES GÉOMÉTRIQUES

Les tolérances dimensionnelles des ouvrages en BTC, écarts d'implantation (alignement vertical), aplomb (verticalité), planéité (rectitude) et épaisseur sont, sauf spécifications contraires, celles qui sont appliquées aux ouvrages en maçonnerie de petits éléments (1).

Les tolérances relatives à un niveau et les écarts d'implantation des parois de même que des percements doivent rester compatibles avec les hypothèses d'excentricité prises en compte dans les calculs de contraintes des ouvrages.

Sauf indication contraire, la première assise d'une maçonnerie ne pourra pas dépasser de plus de 15 mm du bord de la fondation ou du plancher d'implantation.

La tolérance courante d'alignement (rectitude) des blocs entre eux sur les faces des maçonneries de BTC destinées à rester apparentes ne doit pas faire apparaître un écart de ±5 mm sous la règle de 30 cm, hors profil en creux spécifique des joints.

Ces écarts admissibles pourront être ajustés en fonction de l'exigence de la maîtrise d'ouvrage et de la maîtrise d'oeuvre.

NOTE (1) : NF EN 1996 (EC6) ou NF P 10-202 - DTU 20.1 - ouvrages en maçonnerie de petits éléments

	ÉCART MAXIMAL
Aplomb (Verticalité)	
sur un étage (ou sur 3 m)	± 20 mm
sur la hauteur totale d'un bâtiment de 3 étages ou plus	± 50 mm
Écart d'implantation (Alignement vertical)	
écart d'implantation vertical à l'axe des structures	± 20 mm
Planéité (Rectitude)	
sur 10 m	± 50 mm
sur 1 m	± 10 mm
spécifique BTC : entre deux blocs (sur 30 cm)	± 5 mm
Épaisseur	
de la paroi d'un mur	± 5 mm

Tableau 8 : Tolérances géométriques et écarts maximum

2.6. DISPOSITIONS CONSTRUCTIVES

Les dessins en plan et en coupe présents dans cette partie illustrent les principes schématiques de liaison de mur en BTC avec les autres éléments constructifs d'un bâtiment. Il existe une multitude d'autres détails constructifs possibles, il appartient au concepteur de respecter la logique constructive de chacun de ces principes.

2.6.1. SOUBASSEMENT

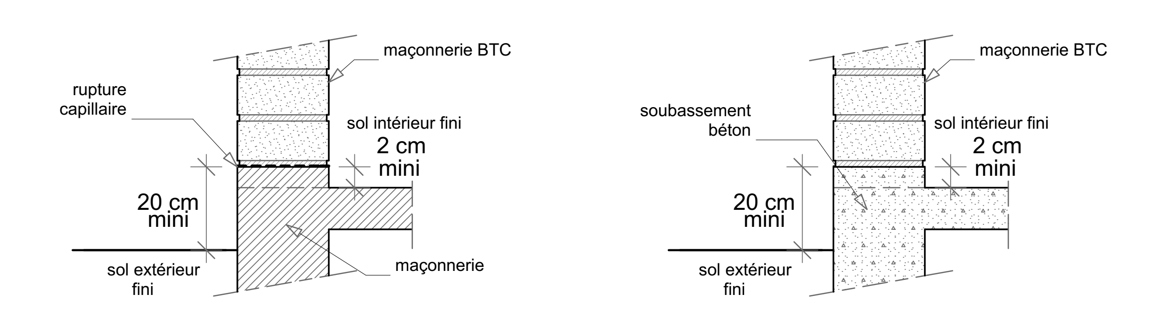
Il convient d'éviter les remontées capillaires par les fondations et les infiltrations directes d'eaux provenant de l'extérieur (eaux de ruissellement, de rejaillissement, etc.) Un soubassement réalisé dans un matériau étanche disposé au niveau du plancher bas du rez-de-chaussée ou du dallage assure cette protection.

Sa hauteur minimale doit être :

- de 20 cm au-dessus du niveau le plus haut du sol extérieur définitif
- de 2 cm au-dessus du sol intérieur fini

Si des risques spécifiques existent sur la zone d'implantation (ruissellement, inondation, etc.), il conviendra d'augmenter en conséquence la hauteur du soubassement par rapport au sol extérieur fini.
La rupture capillaire doit intéresser l'ensemble des matériaux et composants de la paroi susceptibles d'être affectés par des remontées d'humidité.

COUPES DE PRINCIPE DE SOUBASSEMENT



Protection contre les remontées d'humidité

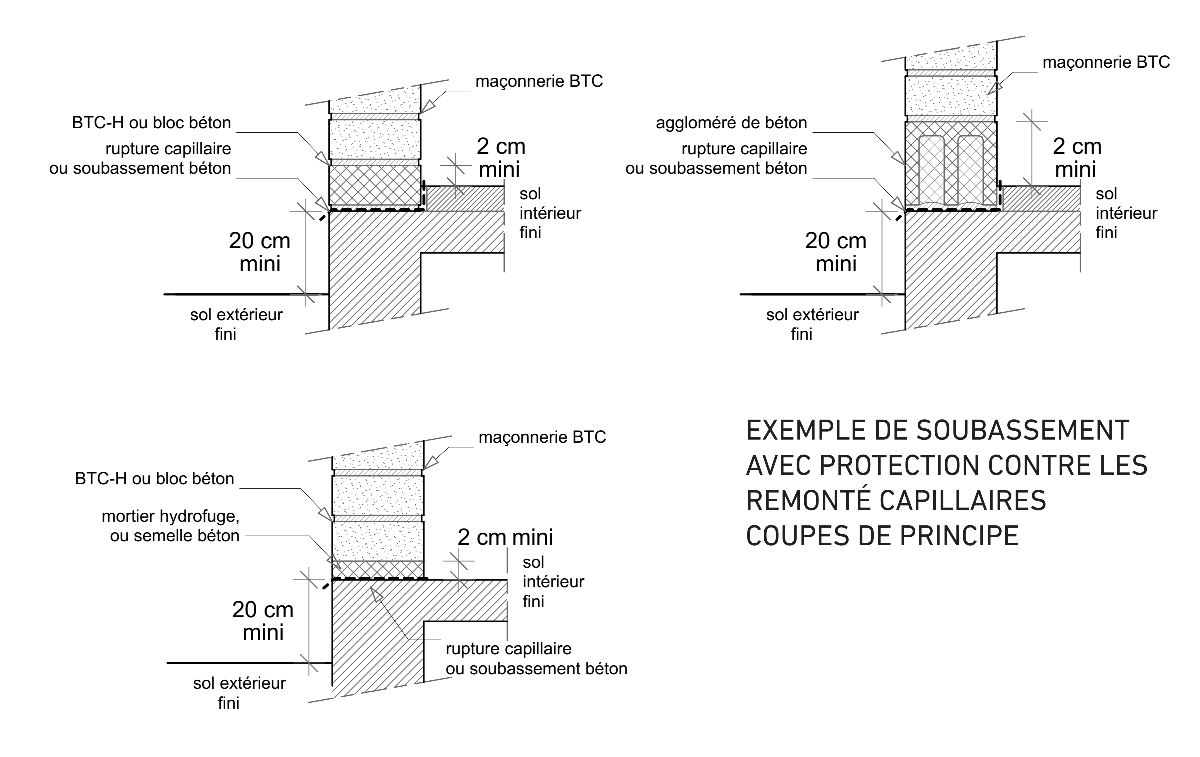
Dans le cas ou le soubassement est réalisé en béton banché, il assure sans disposition complémentaire l'étanchéité à l'eau et la protection contre les remontées capillaires.
Par contre, si il est réalisé en maçonnerie de petits éléments, il doit être surmonté par une coupure de capillarité.
Cette coupure de capillarité est exécutée soit à l'aide :

1. d'un chaînage en béton armé disposé au niveau du plancher bas du rez-de-chaussée ou du dallage sur toute l'épaisseur des maçonneries de soubassement
2. d'une bande de feuille bitumineuse armée, ou de feuille plastique ou élastomère, posée à sec sur une couche de mortier de ciment (1), finement talochée, de 2 cm d'épaisseur après prise et séchage de ce dernier, et

protégée par une deuxième couche de mortier de ciment de même épaisseur sommairement dressée. À leurs extrémités, les segments de bande sont placés à recouvrement minimal de 20 cm ;

3. d'une chape de mortier hydrofugé de ciment [(2)] .

NOTE (1) : comme défini dans la norme NF DTU 20.1 P1-2 (CGM)
NOTE (2) : comme défini suivant le paragraphe 3.6.5 de la norme NF DTU 20.1 P1-2 (CGM).

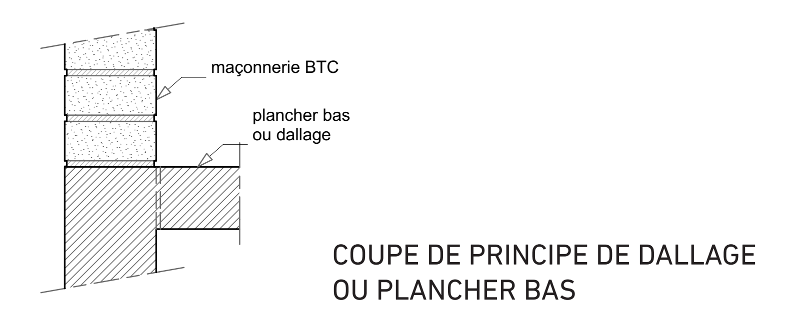


EXEMPLE DE SOUBASSEMENT AVEC PROTECTION CONTRE LES REMONTÉ CAPILLAIRES
COUPES DE PRINCIPE

Protection contre les projections d'eau
Dans les cas où le mur serait proche d'une voie de circulation et entouré d'un sol non drainant, il convient de protéger celui-ci des projections d'eau en augmentant la hauteur du soubassement en conséquence.

2.6.2. DALLAGE OU PLANCHER BAS

Les dallages ou planchers bas, quels que soient leurs types (désolidarisé, liaisonné, etc.) devront être positionnés au niveau du soubassement en béton armé ou maçonnerie. En aucun cas le dallage ne pourra être connecté au mur en BTC.
Les dallages sur terre-plein devront être conformes au DTU 13.3.



COUPE DE PRINCIPE DE DALLAGE OU PLANCHER BAS

2.6.3. APPUIS DES POUTRES, PLANCHERS ET CHARPENTES

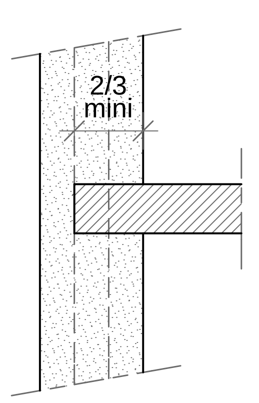
2.6.3.1. GÉNÉRALITÉS

La profondeur d'appui des poutres, planchers et charpentes sur les parois porteuses est, sauf justification, au moins égale aux deux tiers (⅔) de l'épaisseur des parois sans être inférieure à 14 cm, enduits non compris.

Si la répartition de l'appui est ponctuelle, dans tous les cas, sa surface sera d'au minimum 400 cm².

En tout état de cause, les surfaces d'appui devront être suffisantes pour respecter les charges limites admissibles (voir partie 3.2.4. Calcul de la résistance à la compression admissible)

Quel que soit le type de charge appliquée, on évitera dans la mesure du possible tout appui ponctuel concentré au nu d'un angle saillant du mur.
Pour tous les types de charges il est fortement conseillé de les répartir sur la surface de mur la plus importante possible.



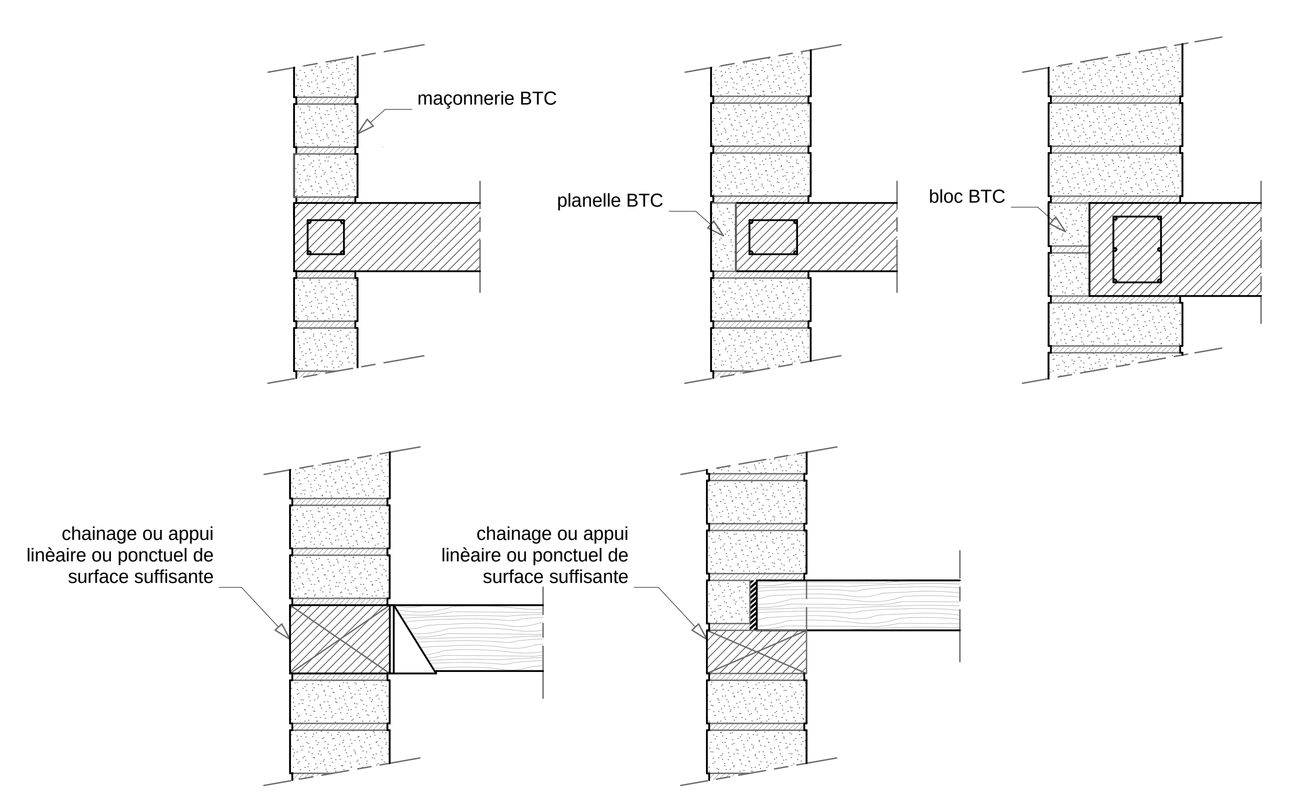
PROFONDEUR D'APPUI
COUPE DE PRINCIPE

2.6.3.2. LIAISON PLANCHER-MUR

La liaison entre le plancher et le mur qui le soutient se fait par l'intermédiaire d'un élément d'appui répartissant les charges qui peut être constitué d'un sommier ou d'une ramasse (métal, bois, béton...).
Ce dispositif devra dans tous les cas assurer la liaison continue linéaire et surfacique pour le transfert des charges sans phénomène de poinçonnement.

Les liaisons entre maçonneries BTC et planchers de grandes dimensions ou susceptibles de prendre des flèches importantes doivent être particulièrement étudiées. Des phénomènes de vibrations, de rotations à l'appui et de dilatations hydriques et thermiques peuvent apparaître. Des tolérances sont donc nécessaires. Il est nécessaire d'établir un bon rapport charge / portée / section et poser le plancher sur un chaînage. Il faudra par exemple éviter les encastrements partiels lorsque les risques de rotation sont importants ou ménager des joints de dilatation entre BTC et plancher bois qui sont soumis à des variations dimensionnelles.

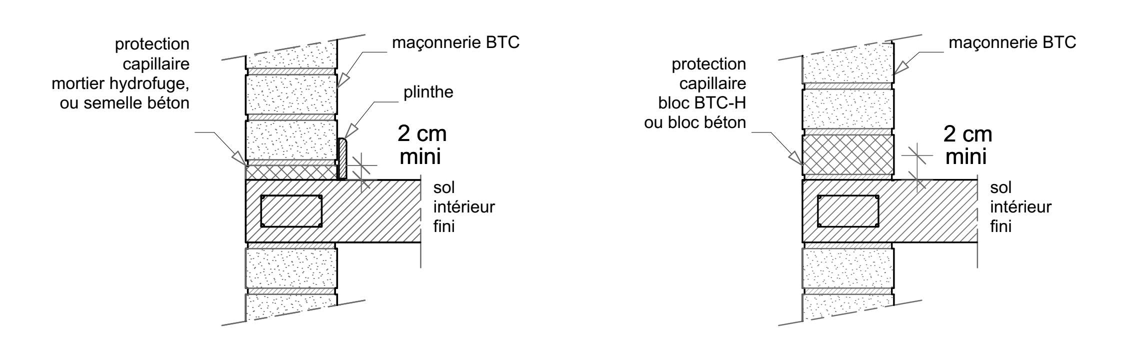
Dans le cas où des éléments particuliers d'ancrage mécanique sont utilisés, tels que attaches, brides de fixation, étriers de support et consoles, ils devront être conformes à la norme NF EN 845-1. Les fixations mécaniques doivent être ancrées dans le béton et non dans les blocs BTC



DISPOSITION DES PLANCHERS / EXEMPLES ET COUPES DE PRINCIPE

2.6.3.3. PROTECTION INTÉRIEURE AU NIVEAU DES PLANCHERS

Pour la première assise de tous les niveaux courants, une protection renforcée des bas de maçonnerie, côté sol intérieur, peut être assurée par :
Sur l'assise inférieure, la mise en oeuvre d'un premier lit de mortier dosé à 400 kg/m^3 pour un mortier ciment ou à 450 kg/m^3 pour un mortier chaux ou bâtard. Une plinthe coté intérieur protégera la base du mur.
Pour protéger des interventions trop agressives d'entretien comme par exemple les sollicitations mécaniques des balais ou lessiveuses en l'absence de plinthe ou pour une protection renforcée à l'humidité, il est recommandé de mettre en oeuvre la première assise en utilisant des blocs formant une coupure de capillarité : bloc type agglomérés de béton, bloc BTC-H, brique cuite ou toute solution équivalente.



EXEMPLES DE DISPOSITIONS POUR ASSURER UNE PROTECTION CAPILLAIRE RENFORCÉE AU NIVEAU DES PLANCHERS

2.6.3.4. APPUIS DES ÉLÉMENTS DE CHARPENTE EN ACIER OU EN BOIS

La partie supérieure des murs doit être munie d'un chaînage continu formant une ceinture périphérique et qui servira d'appuis aux éléments de charpente.

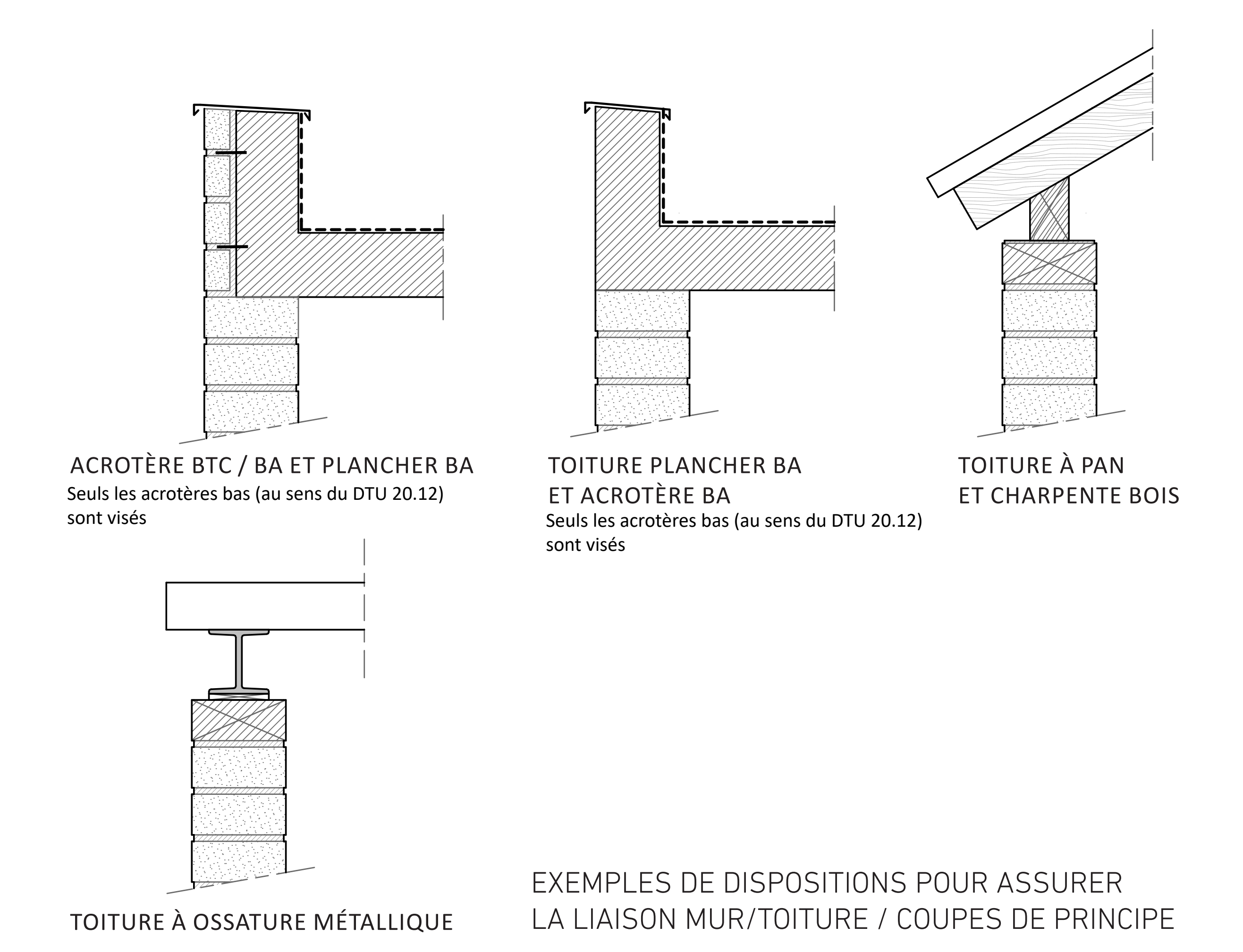
Le dispositif d'appui devra dans tous les cas assurer la liaison continue linéaire et surfacique pour le transfert des charges sans phénomène de poinçonnement.

Les ancrages de la toiture doivent être particulièrement soignés du fait des contraintes cycloniques et toujours être repris dans le chaînage (1) avec un agrafage en liaison continue avec le chaînage vertical lui même ancré en infrastructure.

Les organes de liaison (2) doivent être conformes à la norme NF DTU 20.1 P1-2 (CGM) ou à la norme NF EN 845-1. et sont déterminés en commun avec le charpentier.

NOTE (1) : En l'absence de plancher, la charpente devra être dimensionnée et contreventée en conséquence afin de recréer un diaphragme de contreventement.

NOTE (2) : Aucun principe de chevillage mécanique ou chimique ne sera pris en compte dans le calcul du cisaillement/traction pour les ancrages dans les BTC (sauf essai in situ par le fournisseur).



EXEMPLES DE DISPOSITIONS POUR ASSURER LA LIAISON MUR/TOITURE / COUPES DE PRINCIPE

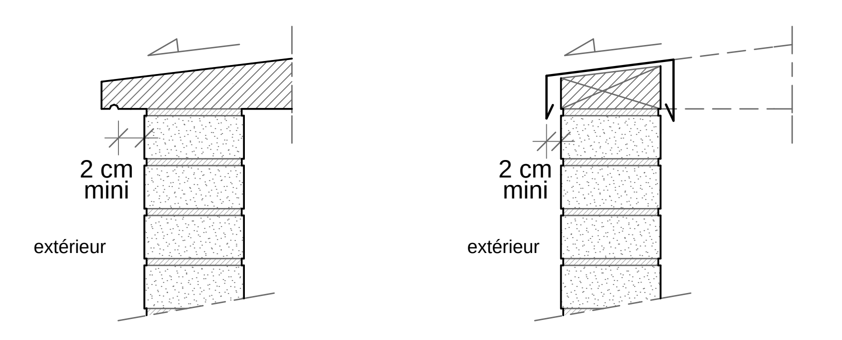
2.6.4. COUVERTURE

2.6.4.1. GÉNÉRALITÉS

Les murs en maçonnerie de BTC doivent être protégés à leur sommet de l'infiltration de l'eau par une couverture étanche [(1)]. Une couverture disposée au minimum sur toute l'épaisseur du mur assure cette protection.

Dans le cas d'une couverture sans dépassée [(2)], ou d'un élément en saillie du mur, la distance minimale à respecter entre le nu du mur et l'élément formant goutte d'eau est de 2 cm.

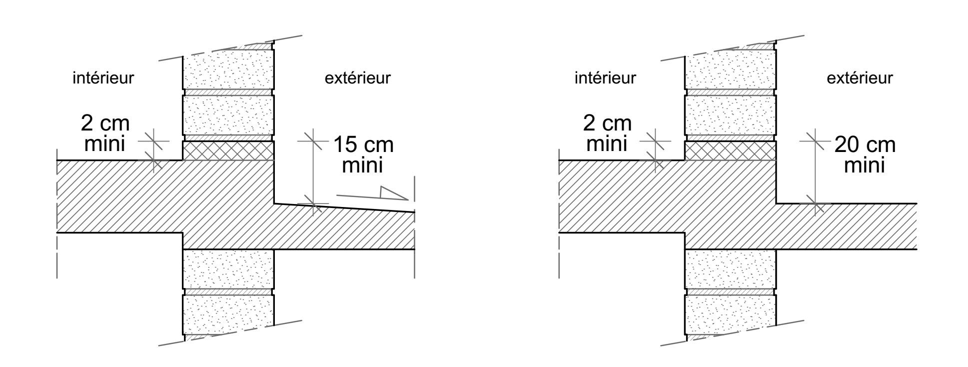
NOTE (1) : Les éléments de couverture doivent répondre aux spécifications de la norme NF DTU 40.
NOTE (2) : Par sécurité, les concepteurs et constructeurs privilégient la réalisation de dépassées de toiture importants qui protègent les maçonneries de BTC des intempéries.



COUPES DE PRINCIPE / COUVERTURE MINIMUM

2.6.4.2. ÉMERGENCES ET SOLINS

Les émergences et les solins protègent de l'eau la base des murs en BTC au-dessus des toitures ou des terrasses. Ils s'intègrent dans un système d'étanchéité empêchant les infiltrations.
Pour les éléments collés ou accolés au mur et formant des saillies importantes, il sera mis en place sur le mur un solin, une émergence ou tout autre système équivalent, formant une barrière étanche de 20 cm de hauteur minimum.
Dans le cas d'un élément, balcon, saillie ou toiture par exemple, avec forme de pente sans possibilité de rétention d'eau au contact du mur, la hauteur de cet élément pourra être réduite à 15 cm.



COUPES DE PRINCIPE DES ÉMERGENCES ET DES SOLINS

2.6.5. CHAÎNAGES & TIRANTS

Seuls les chaînages en béton armé [(1)] conçus conformément aux dispositions constructives définies dans le DTU 20.1 P4, les NF EN 1996 et NF EN 1998 pourront être utilisés.

Les sections minimales de chaînages indiqués dans ces documents doivent en particulier être respectés. Pour les bâtiments de catégorie d'importance II et plus, les dispositions constructives minimales à respecter sont celles données au chapitre 9 de l'EN 1998-1, ainsi que celles données dans l'EN 1996-1-1 pour les maçonneries confinées

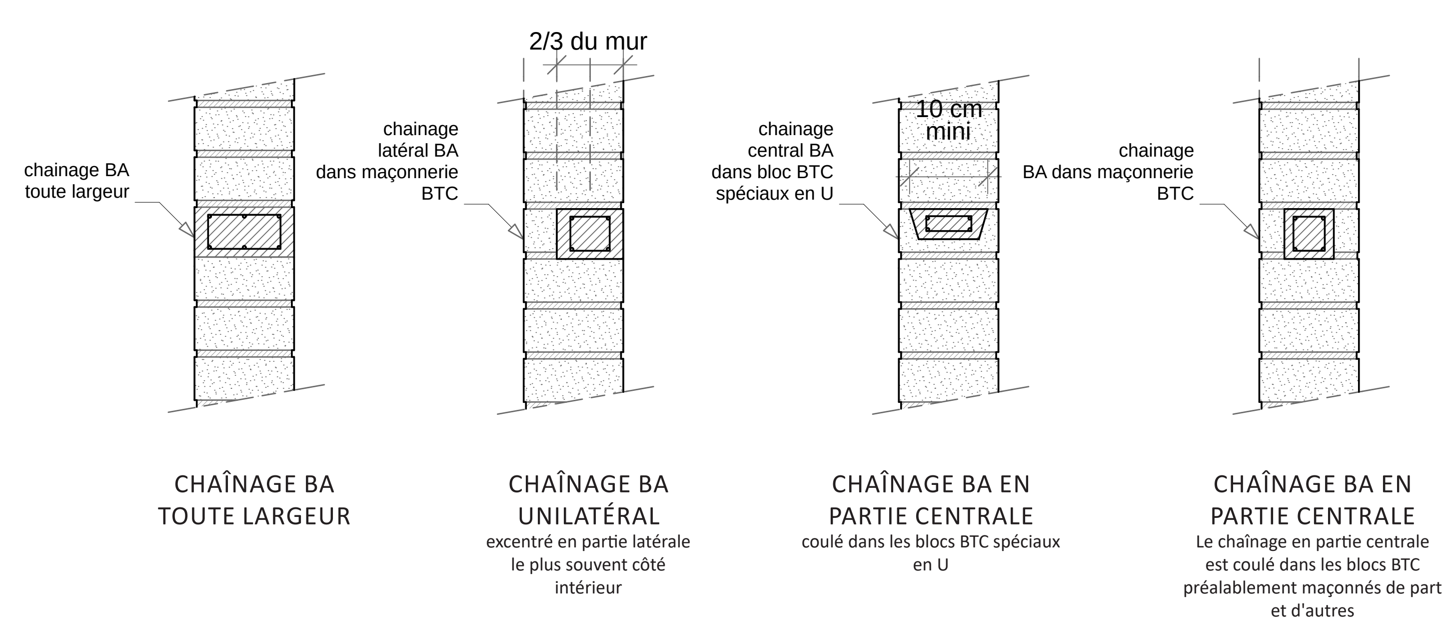
NOTE (1) L'usage des chaînages en bois ou acier n'est pas interdit, mais il devra être démontré le bon comportement mécanique et thermo-mécanique de la maçonnerie ainsi chaînée.

2.6.5.1. CHAÎNAGE HORIZONTAL

Les murs en maçonnerie de BTC porteurs sont ceinturés au niveau du plancher bas du rez-de-chaussée ou du dallage, à chaque étage, au niveau des planchers, ainsi qu'en couronnement des murs, par un chaînage horizontal, continu, fermé. Ce chaînage périphérique ceinture les façades et solidarise les murs de refend.

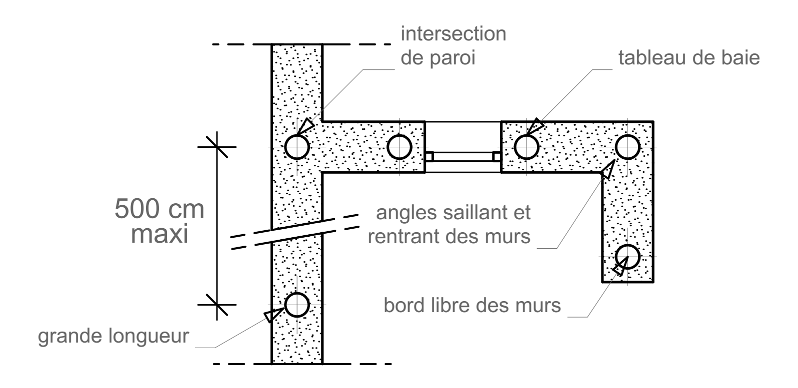
L'espacement maximal des chaînages horizontaux est limité à 4 m.

COUPES DE PRINCIPE DE CHAÎNAGE HORIZONTAL



2.6.5.2. CHAÎNAGE ET TIRANT VERTICAUX

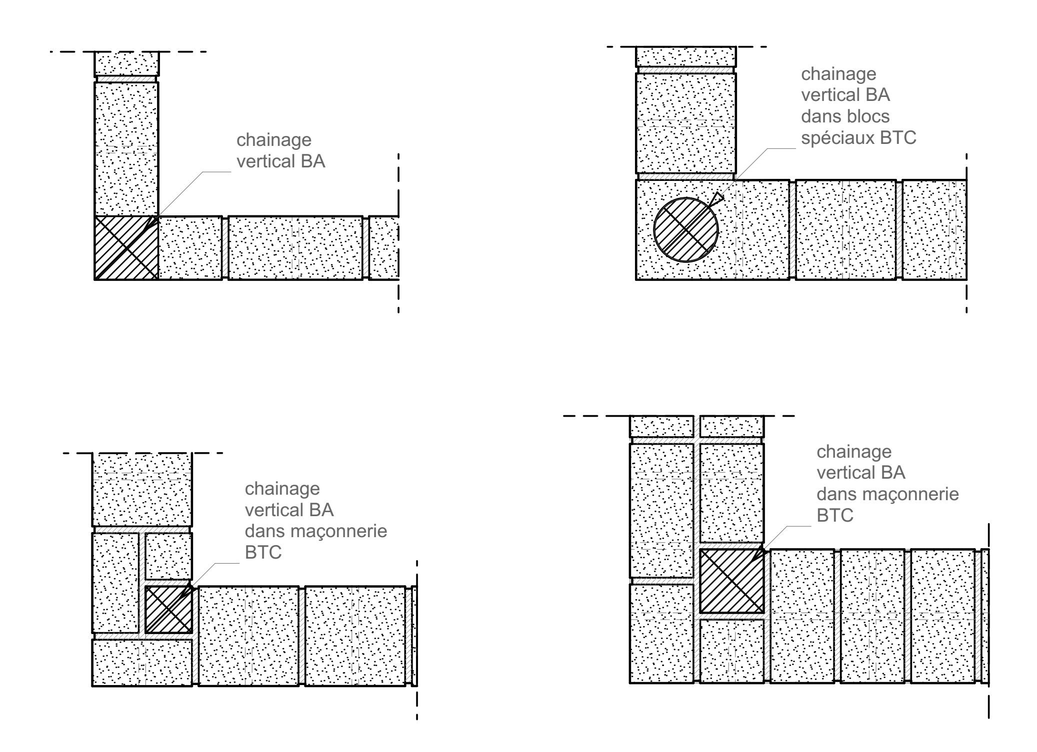
Les chaînages verticaux (type tirants ou raidisseurs) (1) doivent être insérés dans les parois et connectés avec les chaînages horizontaux.
Ces chaînages verticaux doivent être réalisés au moins dans les angles saillants et rentrants des maçonneries, aux jonctions façade/refends porteurs, ainsi que dans les grandes longueurs. Une étude préalable de calepinage précisera leur disposition.
Leurs sections doivent permettre la bonne connexion avec les chaînages horizontaux afin de pouvoir mobiliser les bielles de compression.



L'espacement maximal des chaînages verticaux est limité à 5 m.

NOTE (1) L'utilité des chaînages verticaux est double : ils ceinturent la maçonnerie en liaison avec les chaînages horizontaux et s'opposent, par ailleurs, au soulèvement des dalles de planchers en béton armé dans les angles en réponse aux sollicitations sismiques.

PLAN DE PRINCIPES DE CHAÎNAGE VERTICAL



2.6.6. FRACTIONNEMENT DES MURS PAR DES JOINTS DE RETRAIT, DE TASSEMENT OU DE DILATATION

Avant tout début de travaux, les emplacements des reprises de maçonnerie et des joints de retrait, de tassement ou de dilatation doivent être définis dans tous les murs. Ils figureront sur les plans d'exécution.

Dans le cas de murs ayant des exigences de résistance au feu, les joints y compris les joints de retrait, de tassement ou de dilatation dans ces murs ou entre ces murs et d'autres éléments séparatifs doivent empêcher la propagation du feu. Les couches d'isolation dans les joints doivent être constituées de fibres minérales ayant un point de fusion supérieur à 1 000°C ; les cavités éventuelles doivent être soigneusement calfeutrées. Si d'autres matériaux sont utilisés, il doit être démontré par essais qu'ils satisfont les critères E et I.

2.6.6.1. JOINT DE RETRAIT

(A titre informatif, pour les murs non porteur, non contreventant - zone sismique)

Pour les murs de maçonnerie en BTC de grande longueur, des joints de retrait sont nécessaires.
Le joint de retrait consiste soit en un joint creux soit en un joint calfeutré par un mastic adapté. Il est le plus souvent à bords droits. Il existe des solutions par calepinage à redent de la maçonnerie.

Si des joints de retrait sont prévus dans le soubassement, ils doivent impérativement être prolongés verticalement dans partie maçonnée en BTC.

Rappel 3.2.3. Longueur maximale : Quelle que soit la classe de BTC considérée, la longueur libre des murs entre bords libres, joints de retrait, murs de refends ou contreforts ne doit pas dépasser un maximum de 26 x(e+1,5cm)

2.6.6.2. JOINT DE TASSEMENT SOUS POIDS PROPRE

Dans le cas de charges non uniformes, par exemples au niveau d'allèges réalisées comme un remplisage, des joints de tassement sont nécessaires. Le joint de tassement consiste soit en un joint creux soit en un joint calfeutré par un mastic ou un élastomère.

2.6.6.3. JOINT DE DILATATION OU DE RUPTURE NÉCESSAIRE AU BÂTIMENT

Dans tous les cas, les constructions à façades en BTC porteuses devront comporter des joints de dilatation ou de rupture intéressant toute la structure; leur espacement ne peut être supérieur à 35 m dans les régions humides et tempérées.

La largeur du joint doit être au moins égale à 4 cm. Les dispositions sismiques peuvent demander une dimension plus importante. Celle-ci sera déterminé par calcul.
Le joint pourra être laissé vide ou rempli à l’aide d’une laine minérale non hydrophile de masse volumique inférieure à 30 kg/m^3 ou d’un mastic adapté.
a définir avec la zone climatique de Mayotte.

NOTE les joints de dilatation peuvent être, si le mouvement est libre, recouverts d’un couvre-joint.

2.6.7. JONCTION ENTRE MURS

2.6.7.1. JONCTION ENTRE MURS DE MÊME NATURE

Des murs concourants doivent être liés entre eux de telle sorte que les charges verticales et latérales requises puissent se transmettre entre eux.
Les jonctions doivent être réalisées par harpage des assises de façon à assurer la continuité de l'appareillage.
Il convient de monter simultanément les maçonneries des murs qui s'entrecroisent.
Pour des bâtiments de catégorie d'importance II et plus, les jonctions entre murs sont chaînées.

2.6.7.2. JONCTION ENTRE MURS DE DIFFÉRENTES NATURES

Des murs porteurs concourants doivent être liés entre eux de telle sorte que les charges verticales et latérales requises puissent se transmettre entre eux.
L'intersection des murs pourra être réalisée par : une maçonnerie liaisonnée ou des ancrages ou des armatures pénétrant à l'intérieur de chaque mur.

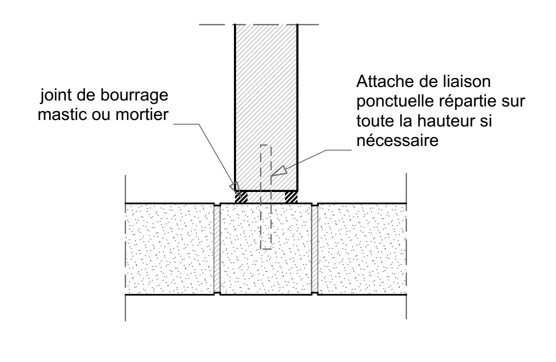
Pour des bâtiments de catégorie d'importance II et plus, les jonctions entre murs sont chaînées.

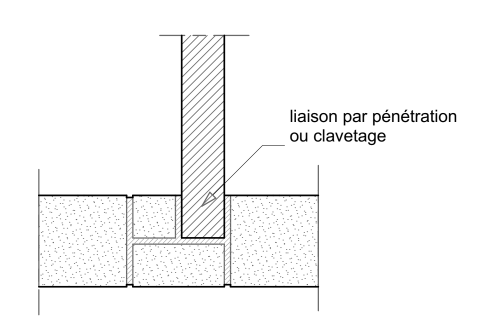
Dans le cas où des éléments particuliers d'ancrage mécanique sont utilisés, tels que attaches, brides de fixation, étriers de support et consoles, ils devront être conformes à la norme NF EN 845-1.

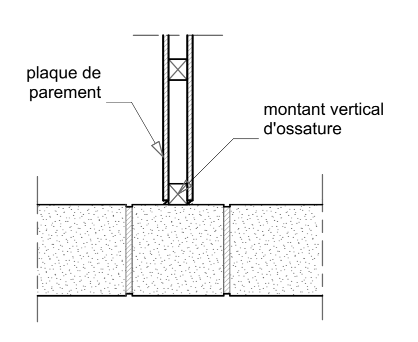
S'il subsiste un vide entre les murs, la jonction sera assurée soit par un mastic ou un élastomère continu pour garantir l'étanchéité, soit pour la sécurité incendie, par bourrage à l'aide de fibre minérale haute densité ou un joint coupe-feu.

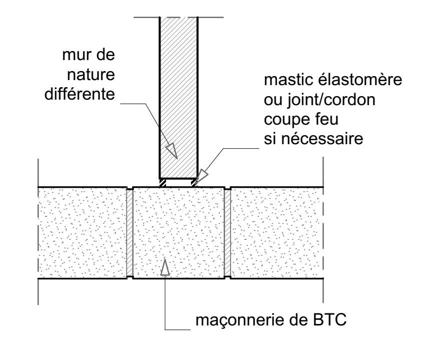
PLANS DE PRINCIPE / JONCTIONS DES MURS NATURES DIFFÉRENTES

(les plans de principes présentés ci-dessous ne figure pas les chaînages verticaux qui sont nécessaires aux jonctions entre murs)









Il est rappelé que les dispositions allégées prévues ci-dessus pour les maçonneries faiblement chargées ne dispensent pas de prévoir des chaînages horizontaux continus assurant, au droit de chaque plancher, la jonction entre les murs perpendiculaires.

2.6.7.3. JONCTION ENTRE OSSATURE ET REMPLISSAGE BTC

MAÇONNERIE PORTEUSE OU CONTREVENTANTE

Les jonctions entre ossature et remplissage en BTC si celui-ci est porteur ou assure le contreventement de la construction sont identiques à celles évoquées au point précèdent 2.6.7.2. Jonction entre murs de différentes natures.

Dans tous les cas, les détails spécifiques de la jonction entre ossature et remplissage devront permettre de garantir si nécessaire l'étanchéité de la jonction à l' eau, à l'air, et au feu.

MAÇONNERIE DE REMPLISSAGE NON PORTEUSE ET NON CONTREVENTANTE

Les conditions de stabilité des maçonnerie sont à peu près identiques à la maçonnerie porteuse, hormis les contraintes de résistance beaucoup plus faibles puisque les blocs ne sont pas porteurs.

Le remplissage pourra être autostable ou assurer sa stabilité en liaison avec l'ossature. Cependant le remplissage ne devra pas créer de bielles de contreventement sur l'ossature qui pourrait entraîner un affaiblissement de la structure. Il est impératif de créer des vides ou des espaces de mouvement/glissement entre le remplissage et l'ossature.

Dans tous les cas, les détails spécifiques de la jonction entre ossature et remplissage devront permettre de garantir si nécessaire l'étanchéité de la jonction à l' eau, à l'air, et au feu.

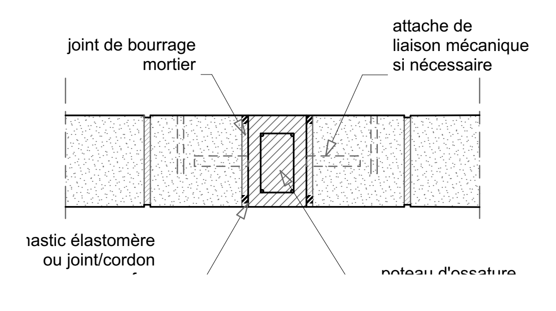
TRAITEMENTS DES JOINTS

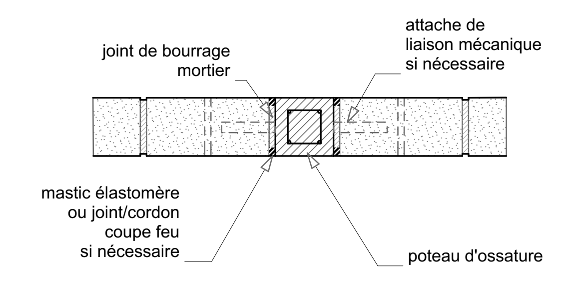
Il peut être fait usage de mastics de calfeutrement et complément d'étanchéité adaptés aux supports de type mortier de maçonnerie conventionnelle. Les joints seront réalisés avec des produits de type mastic élastomère ou élastique élastomère à très forte adhésivité ou de cordon préformé (silicone, polyuréthanne ou hybride) ou, le cas échéant de cordon coupe feu.

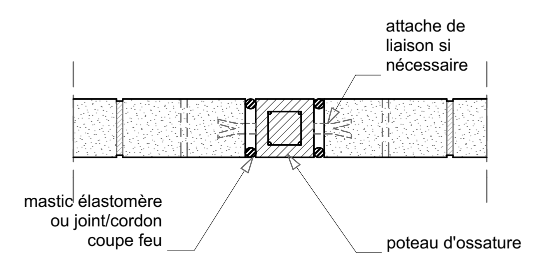
2.6.7.4. ATTACHES, FEUILLARDS, CORBEAUX ET ANCRAGES

Ils sont identiques à ceux utilisés en maçonnerie classique de petits éléments. Ces éléments doivent être conformes à l'EN 845-1.

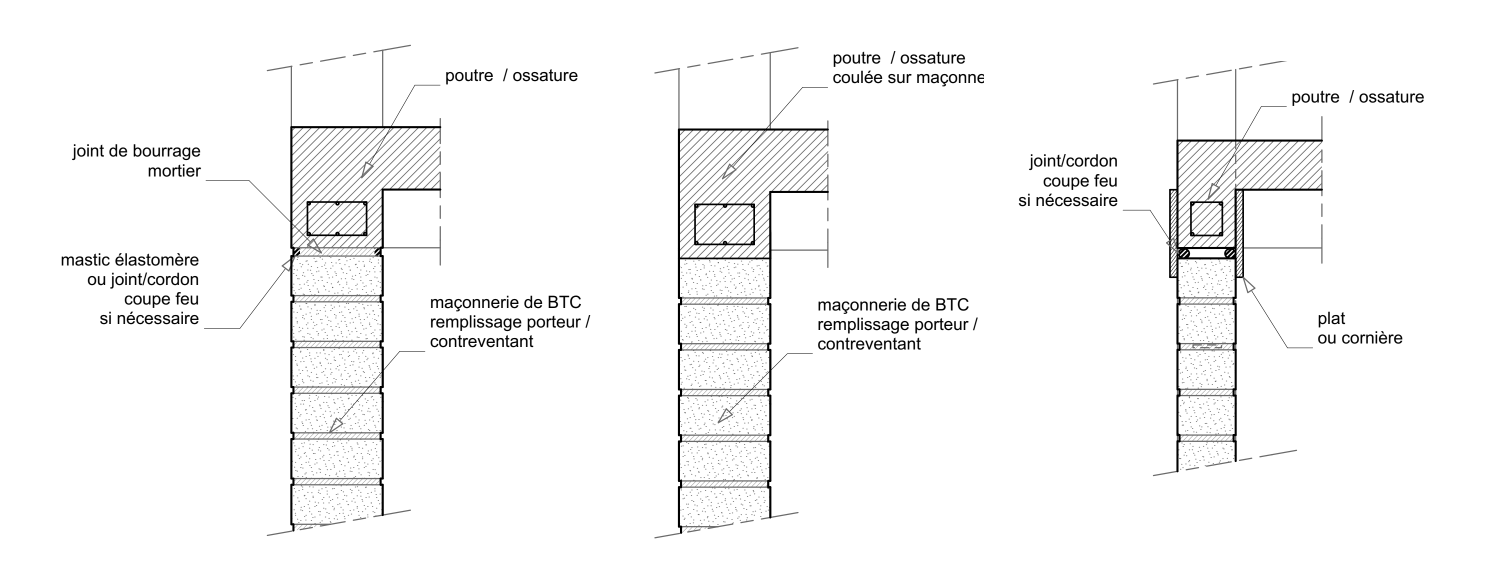
PLANS DE PRINCIPE / JONCTIONS MUR-OSSATURE







COUPES DE PRINCIPE / JONCTIONS MUR-OSSATURE



2.6.8. OUVERTURE

2.6.8.1. GÉNÉRALITÉS

Les tableaux des baies doivent être largement dimensionnés avec une grande inertie du linteau et de l'appui et une bonne stabilité des jambages. Il faut assurer une bonne reprise des charges.

Le tableau peut être traité en bois, en maçonnerie ou en acier, etc. (veiller au travail différentiel entre le tableau et le mur).
Des systèmes de tableaux préfabriqués, type précadre (bois, métal, béton), peuvent être utilisés. Ils seront étudiés en prenant en compte les différences de variations dimensionnelles, dilatation et retrait, des matériaux.

Les ouvertures constituant un lieu privilégié d'apparition de pathologie, on doit apporter un soin tout particulier à leur conception et leur réalisation.

2.6.8.2. DIMENSIONNEMENT

Toutes les règles de dimensionnement des structures en maçonneries de BTC vues précédemment s'appliquent.

Dans le cas d'une maçonnerie de BTC où les ouvertures sont réalisées comme des percements ponctuels d'une même paroi, les règles complémentaires suivantes, indicatives, peuvent être appliquées [(1)] :

Il convient d'éviter les trop grandes concentrations de vides ou les trop grandes ouvertures à moins d'avoir conçu la structure en conséquence :

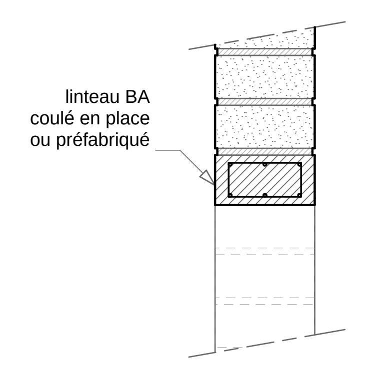
- Dans un même mur, le rapport des vides et des pleins ne doit pas être supérieur à 1/3 et doit être le plus régulièrement réparti.
- La longueur cumulée des ouvertures ne dépassera pas 35 % de la longueur du mur.
- Les portées classiques des ouvertures se limitent à 1 ,20 m pour des linteaux de section classique. Pour les plus grandes baies, il faut dimensionner le linteau et son appui en conséquence.
- La distance minimale entre une baie et un angle de maçonnerie en BTC est de 1 m. Il est toutefois possible de réduire cette distance en prenant des dispositions constructives appropriées.
- La largeur d'un trumeau commun à deux baies n'est pas inférieure à l'épaisseur du mur et correspond à un minimum de 45 cm. Le trumeau n'est pas porteur à moins de 60 cm de large ou de 0,08 m² de surface nette.

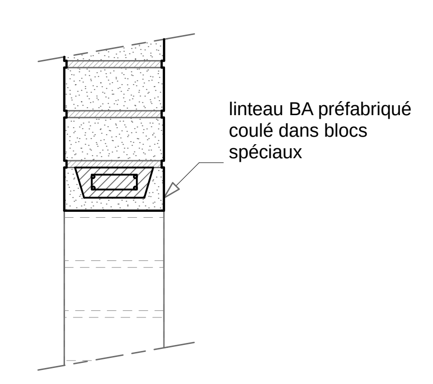
NOTE (1) Ces règles de dimensionnement des ouvertures dans une maçonnerie en BTC n'excluent pas la variété de conception de leur forme et de leur taille.

2.6.8.3. LINTEAU

Ils sont coulés sur place ou préfabriqués. La longueur d'appui ne peut être inférieure à 20 cm.

Les linteaux préfabriqués nécessitent un appui homogène, ils seront mis en œuvre aux appuis sur un lit de mortier frais.

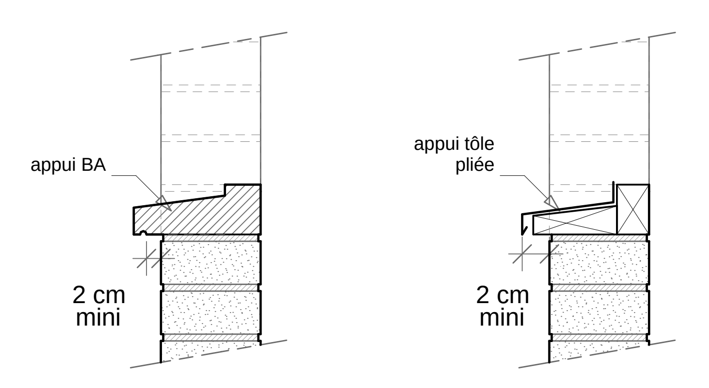




2.6.8.4. APPUI DE BAIE ET JONCTION ALLÈGE-TRUMEAU

Les charges transmises par les jambages doivent être bien reprises. Pour cela on pourra prolonger l'appui de part et d'autre de la baie.
Afin d'éviter le cisaillement de l'allège, il est préférable d'adopter la solution de joints de tassement entre l'allège et le mur (voir *3.5.6. Fractionnement des murs par des joints de retrait, de tassement ou de dilatation*) ou celle d'une allège indépendante traitée en remplissage dans une réservation faite lors de la construction du mur [(1)].
Dans ce dernier cas, si une contrainte importante de stabilité mécanique est recherchée, la liaison entre allège en remplissage et paroi porteuse peut être traitée par des pattes de fixations métalliques, type feuillard, scellées dans le mortier des joints du mur et réparties sur la hauteur de l'allège.

NOTE (1) : Le colmatage des joints entre allège et paroi devra être réalisé ultérieurement, lors des finitions, une fois que la maçonnerie sera suffisamment sèche et de préférence après que les murs soient complètement mis en charge.



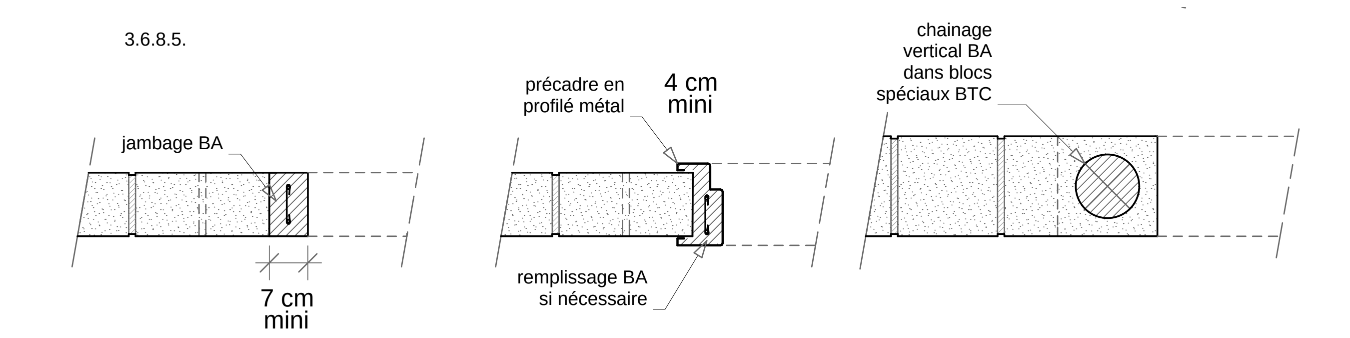
2.6.8.5. LARMIER

Pour parer les effets nuisibles du ruissellement on prendra toutes dispositions utiles telles que la mise en place de larmiers et de solins.
En particulier, il est recommandé de prévoir un larmier sous le linteau et sous l'appui. On évitera les saillies en linteau et en jambages.

Le débord du larmier de l'appui de baie par rapport au nu brut du mur non encore enduit devra être d'une longueur suffisante de façon à garantir un débord de l'élément formant goutte d'eau supérieur à 2 cm avec le nu fini de la maçonnerie de l'allège.

2.6.8.6. SCELLEMENTS ET FIXATIONS DES MENUISERIES

Les scellements doivent être particulièrement soignés. De même, il est préférable de renforcer les feuillures, ébrasements ainsi que tous scellements de chambranles, de gonds ou de paumelles.
Le scellement direct des précadres de portes et fenêtres dans la maçonnerie de blocs de terre comprimée doit impérativement garantir un bon ancrage. De préférence le scellement doit être compatible avec l'entretien, les réparations et l'éventuel remplacement des menuiseries sans endommager la structure du mur.
La fixation des menuiseries peut être réalisée avec des blocs en béton de ciment maçonnés en place.
La fixation des menuiseries directement dans les blocs BTC n'est pas couverte par cette Atex.



2.6.8.7. TRAITEMENTS DES JOINTS

Pour assurer l'étanchéité (eau et air) des menuiseries, il est d'usage courant d'utiliser des bandes de joint mousse pré-comprimée imprégné de résine synthétique et des mastics de calfeutrement et d'étanchéité. Les produits utilisés seront adaptés aux supports concernés : matériaux de maçonnerie conventionnelle d'un coté (brique, pierre, mortier, béton) et matériaux des menuiseries de l'autre (bois, acier, PVC, aluminium, etc.).
Les mastics de calfeutrement et d'étanchéité pourront être réalisés avec des produits de type mastic élastomère ou élastique élastomère à très forte adhésivité (silicone, polyuréthanne, résine acrylique, hybride).

2.6.9. IMPLANTATION DES RÉSEAUX

On favorisera une implantation en réseaux apparents, centralisés et accessibles.

Pour tous réseaux incorporés aux murs, on veillera à ce que :

- **ils n'affaiblissent pas localement la résistance des ouvrages,**
- **ils ne favorisent pas de corrosion ou de condensation,**
- **ils soient équipés d'un fourreau étanche sans rupture,**
- **ils soient incorporés dans les BTC avec des percements adaptés au passage de réseaux.**

2.6.9.1. PASSAGES DE GAINES

L'incorporation des réseaux dans les murs en BTC, soit pendant la mise en oeuvre de la maçonnerie soit, postérieurement, par des saignées [(1)], est déconseillée. On profitera au mieux des éléments qui ne sont pas en BTC, soubassements et éléments verticaux en maçonnerie (béton, brique, pierre, etc.), vide de construction, dalle, plancher pour implanter les conduites.
Si le mur reste apparent, il faut faire cheminer la gaine (ICT) dans les blocs. On privilégie alors les montées et descentes de gaines dans les joints entre deux BTC, soit en utilisant des blocs spéciaux , soit en rainurant et perçant les blocs. Les passages sont alternés entre traversée dans les joints et traversée dans le centre des blocs.
Néanmoins, on peut toujours passer des gaines dans un mur en BTC par rainurage et rebouchage si celui-ci est ensuite enduit.

NOTE 1: en respectant les normes et règles de bonnes pratiques applicables sur tout type de saignées, EN 1996 Eurocode 6 et Norme C 15-520 et C 15-100

2.6.9.2. RÉSEAUX ÉLECTRIQUES

Les câbles électriques sont passés dans des gaines normalisées. Le câblage peut être apparent ou caché et respecte les conditions de réalisation de câblage électrique en vigueur.

2.6.9.3. RÉSEAUX DE PLOMBERIE

Les réseaux de plomberie doivent respecter la réglementation en vigueur.
L'installation de conduits d'alimentation ou d'évacuation de l'eau, dans un bâtiment en maçonnerie de BTC, exige un soin particulier. En effet les risques de pathologies dues à l'humidité peuvent avoir de graves conséquences.
C'est pourquoi tous les raccords seront particulièrement soignés afin d'éviter les fuites. Tous raccords à l'intérieur du mur est proscrit.

2.6.9.4. RÉSEAUX VENTILATION ET CLIMATISEUR

Les conduites et équipements susceptibles de produire une condensation comme le conditionnement d'air seront installés de manière à ce que l'eau de condensation puisse être évacuée loin des murs : inclinaison suffisante des conduites, systèmes de goulottes de récupération ou bien isolation des conduites.

2.6.10. FIXATIONS NON STRUCTURALES

Quel que soit le type de fixation, une distance minimale de 15 cm des arêtes saillantes est recommandé. Dans tous les cas une distance minimale aux bords égale à 2 fois la profondeur d'ancrage devra être respectée.
Si le sens de la fixation est parallèle au matériau, la distance au bord peut être réduite à 1 fois la profondeur d'ancrage.
Une distance minimale entre fixation devra respecter un entraxe minimum de 20 cm ou de 4 fois le profondeur d'ancrage.

Seules sont concernées les fixations pour des applications non structurelles (comme par exemple les tuyauteries, les canalisations et les chemins de câbles) ou des applications à risque "modéré" (risque de pertes en vies humaines quasi nul, conséquences économiques faibles, dommages localisé) comme la fixation d'éléments de mobilier, d'équipement, de menuiseries ou des doublages des murs.
Aucune fixation par clouage ou par pistoscellement ne pourra être réalisée.

En cas de doute sur la capacité de résistance de fixation, Il est souhaitable de réaliser au préalable une série d'essais de validation (essai du fournisseur ou organisme indépendant) (1).

NOTE (1) : Les résistances caractéristiques de résistance des fixations sous des charges statiques ou quasi statiques peuvent être évaluer si nécessaire en préalable par la méthode de calcul selon ETAG001, Annexe C, Méthodes de conception-calcul des ancrages. Elles devront cependant être vérifiées par une série d'essai s de validation.

2.6.10.1. FIXATION BOITE ÉLECTRIQUE

Pour le scellement de boite électrique ronde ou carrée, le scellement des boites se fait au plâtre classique en fond de trou. Le garnissage de finition sera quant à lui réalisé avec le mortier à BTC.

2.6.10.2. FIXATION CHARGES FAIBLES

Pour la fixation des charges faibles, inférieures ou égales à une charge de 30 kg [1] par fixation, on utilisera des chevilles à expansion dites "légères", en plastiques (Polyamide/Nylon) ou caoutchouc adaptées aux matériaux pleins (briques, carreaux de plâtre, béton, béton cellulaire, etc.). Le nombre, le diamètre et la profondeur des fixations devront être adaptés à la charge à supporter.

Tableau 9 : valeurs de charge recommandées pour chevilles à expansion

Valeurs recommandées					
Dimension de l'ancrage Ø de perçage x profondeur d'ancrage (mm)	Ø 5 x 40	Ø 6 x 50	Ø 8 x 60	Ø 8 x 100 Ø 10 x 70	Ø 8 x 120 Ø 10 x 100
Charge maximum recommandée F_{rec} en kN (1 kN ≈ 100kg)	0,04	0,07	0,10	0,20	0,30

NOTE (1) : en l'absence de campagnes d'essais et de tests spécifiques, qui n'ont pu être menés sur le territoire de Mayotte, les valeurs retenues pour les charges recommandées sont volontairement très faibles.

2.6.11. FINITION - REVÊTEMENT INTÉRIEUR ET EXTÉRIEUR

Il est important de prendre en considération que le BTC est un matériau hygroscopique, qui a la propriété d'absorber et de restituer l'humidité. Il faut donc prêter une attention particulière à la nature des finitions et des revêtements utilisés et à leur mise en œuvre, afin de ne pas bloquer les échanges de vapeur d'eau et ainsi éviter des condensations malencontreuses à l'intérieur de la paroi.

2.6.11.1. FINITIONS ET REVÊTEMENTS COURANTS

La technique du BTC permet de laisser le matériau brut. La pose d'une finition extérieure et/ou intérieure n'est pas toujours nécessaire [1].

Si un traitement de finition du mur est réalisé, il convient d'utiliser des produits perméables à la vapeur d'eau.
L'application de produits de finition imperméables à la vapeur d'eau simultanément sur les deux faces du mur est proscrite [2].
Les revêtements appliqués directement en façade (enduit, peinture) doivent toujours s'arrêter à environ 15 centimètres du sol fini extérieur.
Une bande de 5 à 15 centimètres sur le soubassement en pied de façade doit être laissée non traitée ou traitée avec de la peinture spéciale soubassement pour prévenir les remontées capillaires.

Les murs en BTC pourront donc, soit être laissés bruts, soit recevoir:

- un badigeon ;
- une peinture ou un vernis : peinture minérale, vernis pierre, peinture polymères, revêtements d'imperméabilité de i1 à i4 ;
- un enduit [4]. La préparation du support par piquage de la surface peut être nécessaire ;
- un bardage ;
- un doublage.

Les revêtements dits d'imperméabilisation sont soit des enduits hydrauliques spécialement formulés et mis en œuvre pour application sur support terre crue (cf. règles professionnelles «Mise en œuvre des enduits sur supports composé de terre crue ») , soit des revêtements d'imperméabilité de classe I3 ou I4 au sens du DTU 42.1.

NOTE (1) : Sur les murs très sollicités (contact par frottement), il est possible d'appliquer un fixateur qui va bloquer la surface et éviter que des poussières ou grains fins ne se détachent du mur.

NOTE (2) : Hors cas spécifique des zones soumises aux projections et stagnations d'eau régulières (relevé d'étanchéité, solin, zones de concentration d'eau des pièces d'eau et salle de bains, etc.)

NOTE (4) : Dans le cas d'un enduit au mortier, celui-ci doit être compatible avec les caractéristiques des éléments de maçonnerie considérés selon DTU 26.1 ou selon les règles professionnelles pour la mise en oeuvre des enduits sur supports composés de terre crue (Règles professionnelles, Enduits sur supports composés de terre crue, Réseau Écobatir, éditions Le Moniteur, Paris, septembre 2013)

2.6.11.2. REVÊTEMENTS SPÉCIFIQUES PIÈCES D'EAU ET SALLE DE BAIN

On soignera tout particulièrement l'équipement des pièces où la présence d'humidité est importante (douche, salle de bains, cuisine, etc.).

Un traitement de surface, étanche, protégera les murs en BTC dans les zones spécialement exposées aux projections et stagnations d'eau régulières.

Les murs en BTC pourront recevoir:

- un enduit ciment hydrofugé et une finition type faïence,
- un doublage bloc ciment ou briques plâtrière avec lame d'air. Une étanchéité type étanchéité liquide et une finition type faïence seront mises en œuvre sur le doublage,
- un doublage plaque de plâtre hydrofuge, une étanchéité liquide et finition type faïence

2.6.12. DOUBLAGE - ISOLATION

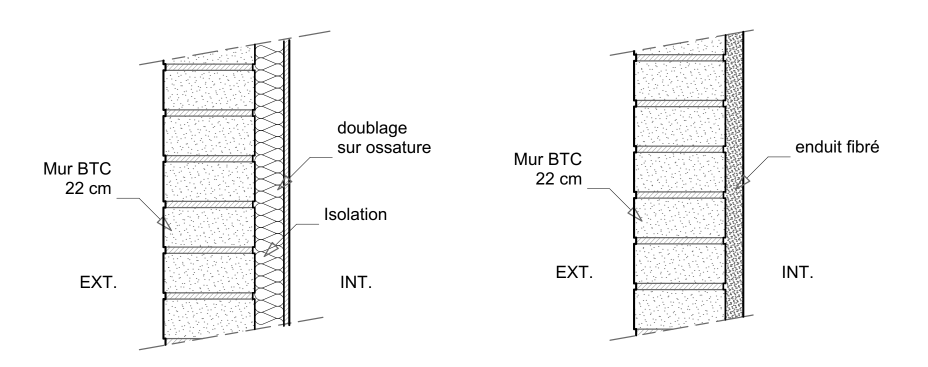
La paroi peut rester non isolée sous réserve de la conformité avec la réglementation thermique.

Lors de la mise en place d'un isolant dans la conception de bâtiments spécifiques: l'isolation pourra être :

- appliquée directement sur le mur, par exemple sous la forme d'un enduit épais fibré, spécialement formulé pour application sur support en terre crue,
- intégrée dans un doublage,
- constituée d'une structure rapportée : maçonnerie de blocs isolants ou structure bois portant l'isolant, par exemple.

L'utilisation d'un matériau isolant étanche aux transferts d'humidité est proscrite. Ceci afin d'éviter les problèmes de condensations pouvant entraîner des pathologies humides.

NOTE 1 : RTAA DOM 2016 - Réglementations Thermique, Acoustique et Aération propres aux départements d'outre-mer. Les arrêtés thermique, acoustique et aération de la RTAA 2016 seront applicable à Mayotte au 1er janvier 2017.



3 | MISE EN OEUVRE DESCRIPTIONS & PRESCRIPTIONS

Cette partie définit étape par étape la technique d'exécution d'ouvrages de parois et murs de bâtiments en BTC.

3.1. FABRICATION DES BLOCS DE TERRE COMPRIMÉS

3.1.1. LES CONSTITUANTS

Le matériau constituant les BTC peut être :

- soit un sol naturel non amélioré dit « terre crue » de type argile graveleuse provenant directement de l'emprunt ;
- soit un matériau reconstitué, fabriqué par mélange d'une argile avec d'autres constituants tels qu'un dégraissant (sable) , ou un correcteur granulométrique (grave, silt) ;
- soit un matériau (naturel ou reconstitué) stabilisé par un liant hydraulique (ciment, chaux) ou par une chaux aérienne (vive ou éteinte). Le choix du matériau et de son élaboration plus ou moins poussée dépend du type de BTC à fabriquer, de l'utilisation prévue (O, P, S, H ou A)(1), des performances mécaniques recherchées (BTC 20-40 ou 60) et des sollicitations environnementales requises (résistance à l'abrasion, capillarité).

L'étude de formulation (4.1.4.) permet de définir les proportions de chaque constituant pour obtenir les performances et caractéristiques requises.

NOTE (1) : classement des blocs selon la norme XPP 13-901 : Ordinaire, Parement, etc.

3.1.2. CARACTÉRISTIQUES DES SOLS UTILISABLES

Les matériaux utilisés pour la fabrication des BTC auront une granularité et une plasticité conforme aux spécifications stipulées dans la norme XP-P 13-901 -Annexe A.

Les matériaux utilisables devront être exempts de matières organiques, de débris végétaux (racines), et de sels solubles (sulfates et chlorures) (1).

Ils seront tous caractérisés par leur granulométrie (selon la norme NF P 94-056,)

- Les sols argileux seront identifiés par leurs limites d'atterberg (LL et IP) et leur valeur au Bleu VB (Limite d'Atterberg selon la norme NF P 94-051 et la norme NF P 95-052-1 afin de déterminer l'indice de plasticité et la limite de liquidité de la terre, essai au bleu de Méthylène selon la norme NF P 94-068 afin de quantifier la fraction argileuse sur la fraction 0/5 mm de la terre).
- Les sables seront identifiés par leur « équivalent de sable » (ES).
- Les graves par un essai de propreté.

En outre le diamètre maximum (D max) des granulats des matériaux sélectionnés sera tel que :
D max < 3 d min
d min étant la plus petite dimension interne du moule.

NOTE (1) : Si nécessaire un dosage en matières organiques par méthode chimique selon la nonne NFP 94-055 peut-être réalisé. Une terre prélevée sous la couche de terre végétale contient généralement un taux de matières organiques inférieur à 1% et ne nécessite pas la réalisation de ce test.

3.1.3. LES CARRIÈRES ET SOURCES DE MATÉRIAUX – RECONNAISSANCE – CHOIX

Les carrières de sols argileux et des autres composants éventuels (dégraissants, correcteurs granulométriques, terres de terrassement) doivent être reconnues préalablement à leur exploitation afin de s'assurer de :

- leur puissance (volume exploitable) ou leur disponibilité.
- leurs caractéristiques
- leur homogénéité

Une bonne connaissance du site exploitable sera obtenue par des sondages par puits manuels ou à la pelle mécanique jusqu'au substratum. Cette reconnaissance du site est confiée à un laboratoire expérimenté.

Chaque relevé de sondage mentionne :

- l'épaisseur de terre végétale et de découverte
- la description visuelle et l'épaisseur des couches exploitables
- la profondeur atteinte
- les échantillons prélevés

Le nombre de sondages et leurs espacements (maillage) dépendent de la configuration du terrain, des volumes à extraire, et de l'hétérogénéité du site. Il est adapté sur place par le géotechnicien.

Les matériaux argileux peuvent être également issus de chantiers nécessitant la mise en dépôt de terres en excès (fouilles d'immeubles, terrassements de plate-formes, déblais de chantiers routiers). Dans cette hypothèse, l'entreprise adjudicataire devra en être informée avant le démarrage des travaux afin de prévoir une extraction des matériaux sélectionnés sans mélange avec des sols impropres, ainsi que pour une éventuelle mise en dépôt provisoire.

L'étude de laboratoire consistera à :

- regrouper les échantillons par sols types
- réaliser sur le (ou les) sol type obtenu les essais d'identification requis :
  - Teneur en eau naturelle Wnat
  - Analyse granulométrique par voie humide
  - Sédimentométrie
  - Limites d'Atterberg et VB
  - Optimum de teneur en eau suivant compaction de la presse de production utilisée
- Estimer les volumes de terre végétale et découverte
- Estimer les volumes disponibles pour chaque sol type.

Matériaux correcteurs

Les sables et graves sont généralement issus d'une carrière de production de matériaux de construction pour le BTP équipée d'une station de concassage criblage. La démarche consistera à se procurer les caractéristiques du matériau (granulométrie, ES, propreté), à s'assurer de leur disponibilité pour la période de fabrication des BTC ainsi que des volumes disponibles.

3.1.4. ÉTUDE DE FORMULATION

La validation d'un matériau destiné à la fabrication de BTC nécessite la réalisation d'une étude de formulation menée conjointement par l'opérateur équipé de l'outillage de production des BTC et le laboratoire d'essais. L'étude consiste à tester des blocs fabriqués sur la chaîne de production pour mesurer l'évolution de leurs caractéristiques en fonction de leur composition :

- terre crue ou améliorée par correction granulométriques ;
- apport d'un liant ;
- teneur en eau au moulage.

Les caractéristiques à étudier sont :

- **Aspect au démoulage (1)**
- **Gradient de densité (2)**
- **Couleur**
- **Résistance mécanique sèche**
- **Résistance mécanique humide (facultatif)**
- **Résistance à l'abrasion (facultatif)**
- **Variation dimensionnelle au séchage (retrait) (facultatif)**
- **Optimum de teneur en eau pour une formulation donnée avec une presse donnée**
- **Aptitude au liant : chaux ou ciment et optimum de teneur en liant**

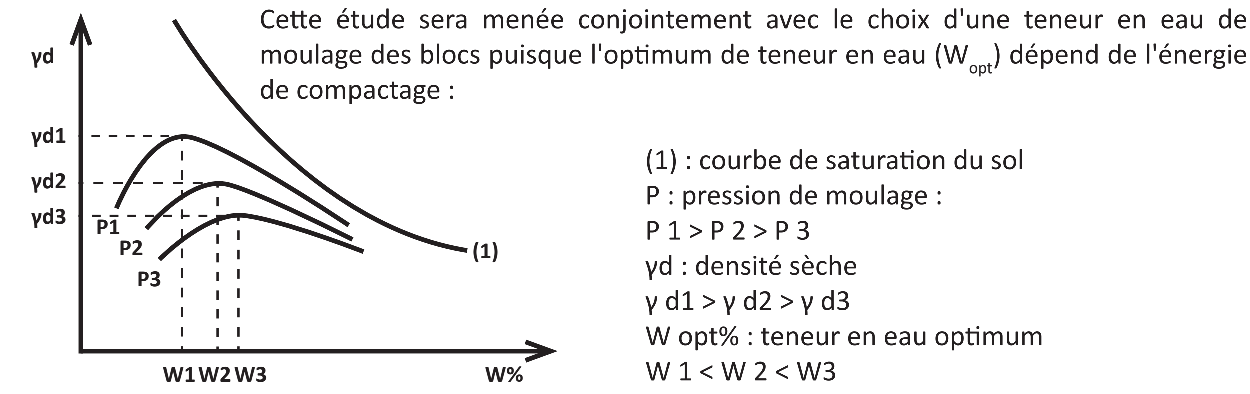
Ces essais sont décrits dans la norme XP P 13-901.

Les résultats de ces essais permettent de définir la catégorie du bloc et sa classe de résistance conformément à l'article 1.6 de cette norme.

NOTE (1) : Un aspect défectueux au démoulage traduit une granulométrie inadaptée :
• Présence de nids de cailloux- ségrégation : granulométrie trop creuse
• Écornures , Épaufrures : manque de fines argileuses .
NOTE (2) : Le gradient de densité peut être corrigé en modifiant la pression de moulage.

3.1.5. AJUSTEMENT DE LA TENEUR EN EAU ET DU TAUX DE COMPRESSION

L'étude de formulation devra comporter une phase permettant de faire varier le taux de compression afin d'optimiser la densité du bloc pour en maximiser ses performances mécaniques.
Cette étude sera menée conjointement avec le choix d'une teneur en eau de moulage des blocs puisque l'optimum de teneur en eau (W_{opt}) dépend de l'énergie de compactage :



(1) : courbe de saturation du sol
P : pression de moulage :
P 1 > P 2 > P 3
γd : densité sèche
γ d1 > γ d2 > γ d3
W opt% : teneur en eau optimum
W 1 < W 2 < W3
On définira une plage de teneur en eau acceptable autour de W_{opt}

3.1.6. PRÉPARATION ET EXPLOITATION DES CARRIÈRES

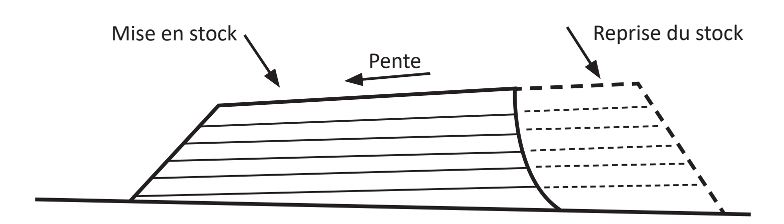
La préparation de l'emprunt consiste à éliminer les matériaux impropres à la fabrication des blocs et à favoriser l'écoulement des eaux de ruissellement.
On procédera à :

- un dessouchage éventuel ;
- un décapage de la terre végétale et sa mise en cordon selon les indications de l'étude géotechnique ;
- une mise en dépôt de la découverte ;
- un nivellement de la surface pour éliminer les points bas formant cuvette.

L'extraction de la couche exploitable devra assurer l'homogénéisation du matériau. On adoptera une exploitation frontale et sur toute l'épaisseur de la couche (ou sur une forte épaisseur) pour recouper la sédimentation naturelle des couches géologiques. La mise en dépôt provisoire devra respecter les trois conditions suivantes qui assureront l'homogénéisation du sol et la maîtrise de la teneur en eau :

1. Approvisionnement par couches horizontales
2. Reprise du stock par un front vertical
3. Pentage de la surface

Pour une mise en dépôt de longue durée on devra compacter la surface au rouleau ou assurer une protection par bâchage.



3.1.7. UNITÉS DE FABRICATION

L'unité de production comporte une chaîne de fabrication précédée d'une aire de stockage / alimentation et suivie d'une aire de cure puis d'une zone de stockage final.

L'aire de stockage doit permettre d'assurer la protection des différents matériaux contre les intempéries. Elle doit aussi être aménagée et suffisamment vaste ou équipée de silos pour éviter la contamination des différents matériaux entre eux.
Le stockage sur site pourra se faire sous bâches en saison des pluies. L'aire de stockage doit permettre un drainage correct des eaux. Il est préférable d'aménager une aire de stockage présentant une légère inclinaison

Les liants destinés à la fabrication seront stockés à l'abri de la pluie, mais également protégés des remontées d'humidité du sol, des projections de boue. Si plusieurs types de liant sont nécessaires à la fabrication, leur stockage sera séparé pour éviter des erreurs ou des mélanges accidentels.

La chaîne de fabrication comporte selon la nature des matériaux, leur consistance et les ajouts à prévoir tout ou partie des équipements suivants :

- Un crible pour éliminer les cailloux dont la dimension est supérieure au D max admissible.
- Un désagrégateur/démotteur assurant la bonne fragmentation des argiles . Le d max des mottes d'argile devant être inférieur à 10mm et 50 % de celles-ci inférieures à 5mm.

- Un malaxeur pour assurer le mélange des différents composants et du liant éventuel. Ce malaxeur peut être équipé d'une rampe d'arrosage multi-jets pour l'humidification progressive du mélange à la teneur en eau souhaitée. Dans ce cas La quantité d'eau ajoutée est maîtrisée par un débitmètre ou un compteur.
- Des Doseurs (godets, seaux, recipient gradués, etc.) pour garantir les proportions des mélanges.
- Un matériel de mesure de la teneur en eau du mélange.

L'organisation de la production sera différente selon qu'elle est réalisée dans le cadre de petites unités de production artisanales (ou briqueteries) au moyen de presses généralement manuelles ou semi-mécanisées, voire motorisées ou bien dans le cadre d'unités de production semi-industrielles et industrielles empruntant, dans ce cas, les principes et modes d'organisation de l'industrie de la brique cuite ou des produits silico-calcaires classiques.

3.1.8. CURE - SÉCHAGE

La cure des blocs est achevée lorsqu'ils peuvent être manipulés sans risque de déformation, de dégradation, d'écornure.

Pour les blocs stabilisé au ciment, une cure de 4 semaines (28 jours) minimum est nécessaire.
Pour les blocs stabilisés à la chaux, une cure de 8 semaines minimum (56 jours) est nécessaire.

La cure des produits stabilisés avec des liants hydraulique doit s'effectuer en atmosphère humide au minimum pendant les 7 premiers jours pour éviter L'évaporation trop rapide de l'eau et favoriser une meilleur prise des liant jusqu'au durcissement.

Les lots produits pourront par exemple être stockés après leur fabrication enveloppés par des bâches , des membranes ou de films plastiques imperméables (film polyéthylène, PVC, etc.) qui limitent les échange humide et évitent la dessiccation due à des conditions atmosphériques défavorables (vent) et permet l'augmentation de la température interne du matériau lors des phases de prise du liant.

L'aire de cure devra être à l'abri des intempéries (pluies) et d'une dessiccation trop rapide (soleil, ventilation trop forte) qui se manifeste par l'apparition de fissures occasionnées par le retrait. Elles sont peu profondes et sont surtout inesthétiques.
Le stockage des blocs devra également s'effectuer protégé des remontées d'humidité par capillarité du sol (palettes, bâches, aire bétonnée, etc.)

3.1.9. ESSAIS ET CONTRÔLE DES BTC

Les différents essais de performance et de contrôle de qualité des BTC devront être conformes aux spécifications stipulées dans la norme XP-P 13-901.
Les parties *5.1. Niveaux de sécurité et gestion de la fiabilité* et *5.2. Contrôles qualité de production* de ce document précisent les protocole de contrôle de qualité.

Pour rappel ces essais portent sur les caractéristiques suivantes :
- caractéristiques géométriques ;
- capillarité ;

- résistance à la compression sèche ;
- résistance à la compression humide ;
- abrasion.

3.2. PROPRIÉTÉS, CONSTITUANTS ET COMPOSITIONS DES MORTIERS DE POSE

La maçonnerie est composée de blocs assemblés par du mortier. L'interaction mécanique bloc-mortier détermine les caractéristiques physiques de la maçonnerie.

3.2.1. GÉNÉRALITÉS

- La pose des BTC est exécutée en utilisant des mortiers de type sable/ liant (1)
- Ils sont principalement destinés à la réalisation de maçonnerie à joints courants de 1 cm minimum à 1,5 cm maximum (2).
- Les mortiers de montage sont fabriqués - dosés et mélangés - directement sur le chantier, où ils sont utilisés. Ils sont dits mortiers de recette ou mortier de chantier (3).

Le mortier de pose doit posséder des caractéristiques mécaniques (4) voisines de celles des blocs de terre comprimée.

La résistance caractéristique à la compression des mortiers f_m ne peut être supérieure (5) à 20 N/mm² ni supérieure à **2** f_b .

Composition :

- Pour les BTC stabilisés avec un liant (chaux ou ciment) on utilisera le même type de liant avec un dosage majoré de 1,5 à 2 fois.

Dmax :
Le diamètre maximal des grains doit être inférieur au 1/3 de l'épaisseur du lit de pose. Pratiquement on se limite à 4 mm.

Consistance :
Après malaxage avec l'eau d'apport, le mortier doit avoir une consistance plastique - souple et pâteuse - mais pas liquide .
A l'état frais, un mortier doit être bien "ouvrable". Outre une consistance convenable, il doit présenter une bonne cohésion ainsi qu'un pouvoir de rétention de l'eau contre la succion par les éléments de maçonnerie sur lesquels il est appliqué.

La compositions et les propriétés mécaniques des mortiers sont décrits ci-après, partie 4.2.3

NOTE (1) : principalement ciment, chaux hydraulique ou chaux aérienne hydratée. À Mayotte, seuls les mortiers de type sable-liant sont utilisés pour maçonner le BTC
NOTE (2): Certaines dispositions d'appareillage peuvent entraîner la réalisation de joint non courant qui pourront exceptionnellement être inférieur à 1 cm ou supérieur à 1,5 cm sans atteindre un maximum de 2,5 cm (mur arrondi, lit de mortier hydrofugé, liaison avec d'autres éléments constructifs, arc, etc.).
NOTE (3) : conformes à la norme NF EN 998-2 pour mortier recette ou NF EN 1996-2 pour mortier chantier. Il n'existe aujourd'hui pas de mortier de recette industriel ou de mortier performanciel spécifiques pour la pose du BTC.
NOTE (4) : Les mortiers peuvent être caractérisés sur la base de la norme NF EN 1015-11.
NOTE (5) : Les mortiers trop résistants risquent au moment de leur retrait de cisailler la face de pose des éléments.

3.2.2. CONSTITUANTS DES MORTIERS

Les constituants, sables et liants, utilisables pour la réalisation des mortiers de mise en oeuvre des BTC sont identiques à ceux utilisés pour la maçonnerie des petits éléments [1].
Les différents constituants manufacturés doivent porter le marquage CE selon leur norme respective.

NOTE (1) : NF DTU 20.1 P1-2

3.2.2.1. LIANTS

Les liants les plus couramment admis pour la réalisations des mortiers sont :

- le ciment Portland (CEM I), le ciment Portland composé (CEM II), le ciment de haut fourneau (CEM III/A) et le ciment composé (CEM V/A) conformes aux normes NF EN 197-1 et NF EN 197-4 et le ciment à maçonner (MC) conforme à la norme NF EN 413-1 ;
- la chaux hydraulique (HL) conforme à la norme NF EN 459-1 ;
- la chaux hydraulique naturelle (NHL) ou avec ajouts (NHL-Z) conforme à la norme NF EN 459-1 ;
- les chaux aériennes hydratées calciques (CL) ou dolomitiques (DL) conformes à la norme NF EN 459-1

3.2.2.2. SABLES

Le sable sera de 0/2 mm à 0/4 mm avec un pourcentage de fines < à 5%
Les granulats pour mortiers sont conformes à la norme NF EN 13139.
L'emploi de sable de mer n’est pas visé dans le présent document.

3.2.2.3. EAU DE GÂCHAGE

L'eau de gâchage d'un mortier doit être propre (eau claire et non acide).
L'eau de gâchage doit répondre aux prescriptions de la norme NF EN 1008.
L'eau potable convient pour la réalisation des mortier.

3.2.3. COMPOSITIONS DES MORTIERS

3.2.3.1. MORTIER SABLE - LIANT

Le tableau indicatif [1] ci-dessous présentent la composition des mortiers "recette"et la valeur escomptée de la résistance en compression f_m. Il permet d'adapter le mortier au choix de la résistance des éléments de maçonnerie.

NOTE (1) : selon annexe nationale de l'Eurocode 6 partie 1.1

Tableau 10 : information indicative sur le performance des mortiers "recette" - sable/liant

EXEMPLE DE COMPOSITION DU MORTIER					MORTIER		BTC
En masse (kg) de liant par m3 de sable sec	Parts en volume				Résistance à la compression fm selon la EN 1015-11 (N/mm²)	Catégorie ou valeur équivalente	classe de résistance
	Ciment (C)	Chaux hydratée (CL)	Chaux hydraulique (HL)	Sable			
C 250	2	-	-	9	8	8 M5	BTC 40/60
C 250 CL 50	2	1	-	9	8	8 M5	BTC40/60
C 200 HL 100	2	-	1	10	8	8 M5	BTC40/60
C 200 CL 100	1	1	-	6	5	M5	BTC40
C 150 HL150	1	-	1	7	5	M5	BTC40
C 150 CL150	1	2.5	-	7	2.5	M 2.5	BTC20
C 100 HL 200	1	-	2.5	11	2.5	M 2.5	BTC20
HL 400	-	-	2	5	2.5	M 2.5	BTC20

Sur l'assise inférieure, le premier lit de mortier ayant une fonction de coupure de capillarité, il devra être conforme au DTU 20.1 - soit un dosage de ciment du mortier à 600kg/m^3.

3.2.3.2. MORTIER POUR JOINTOIEMENT APRÈS COUP DE MAÇONNERIE APPARENTE

Dans ce cas, les mortiers servant au jointoiement après coup ne pourront pas présenter une résistance mécanique supérieure au mortier de pose. De même les liants ne pourront pas être de classe de résistance supérieure à celui utilisé pour le montage

3.3. DESCRIPTION DE LA MISE EN ŒUVRE

3.3.1. TECHNIQUE DE MISE EN ŒUVRE DU BTC

3.3.1.1. GÉNÉRALITÉS

Le montage de la maçonnerie doit être exécuté de sorte que la stabilité soit garantie en cours de construction. Il convient d'être particulièrement attentif aux murs très élancés et non encore chaînés, particulièrement face au risque de vent violent. Il faudra si nécessaire étayer momentanément les parois.

3.3.1.2. DISPOSITION DE STOCKAGE DES MATÉRIAUX SUR CHANTIER

Il convient de protéger les agrégats (sables pour mortiers), les liants et les BTC de la pluie et de l'humidité pendant toutes les phases de manutention et de stockage précédant la pose.

Si les blocs livrés sont conditionnés "filmés" - sous film plastique - il est préférable de retirer le film afin d'éviter des phénomènes de condensations qui peuvent s'avérer important et provoquer des tâches ou des efflorescences à la surface des blocs.

Il convient d'éviter tout mélange entre des granulats de natures différentes. Pour éviter la pollution des granulats entre eux ou par de le sol du site ou des déchets, le stockage doit se faire sur une aire aménagée. Le stockage peut être fait sur palette ou sur une surface gravillonnée.

Le stockage sur site doit se faire sous bâches en saison des pluies. L'aire de stockage doit permettre un drainage correct des eaux. Il est préférable d'aménager une aire de stockage présentant une légère inclinaison.

Les sacs de liants destinés à la fabrication des mortiers, ciment et chaux, seront stockés à l'abri de la pluie, mais également protégés des remontées d'humidité du sol, des projections de boue et de tout choc mécanique susceptible de les déchirer.
Si plusieurs types de liant sont nécessaires au chantier, leur stockage sera séparé pour éviter des erreurs et mélange.

3.3.1.3. GÂCHAGE ET UTILISATION DES MORTIERS

Gâchage des mortiers :
Les mortiers doivent être gâchés juste avant leur utilisation sur une surface propre.
Le gâchage est effectué soit manuellement soit au moyen d'un mélangeur mécanique.
Un mélange à sec des granulats et du liant avant l'ajout de l'eau peut permettre d'éviter des défauts d'homogénéité.
La durée de gâchage commence à partir du moment où tous les matériaux, eau comprise, sont incorporés au mélange.
La durée de gâchage usuelle est comprise entre 3 et 5 min. Elle ne doit pas dépasser 15 min.

Entre différentes gâchées, il faut éviter les écarts importants des durées de gâchage.

Durée d'utilisation des mortiers :
Le mortier fabriqué sur le chantier doit être mis en oeuvre suivant les temps d'utilisation relatif au liant utilisé. En général il convient d'utiliser les mélange moins de 30 minutes après leur fabrication.

3.3.1.4. POSE DU BTC

La surface d'application du mortier doit être préparée et propre.

Pour garantir une bonne adhérence entre mortier et blocs, le plan de pose et les BTC seront humidifiés avant la pose. Les blocs seront plongés dans l'eau et retirés immédiatement, le plan de pose sera légèrement mouillé en aspergeant celui-ci.
Le mortier est appliqué sur les faces à jointoyer en quantités adaptées.
Les BTC sont posées et mises en place sur le lit de mortier par collage en les plaquant en pression ou en les faisant translater jusqu'à avoir trouvé la position requise. Par effet de succion les BTC s'immobilisent.

Les blocs sont positionnés de niveau à l'aide de piges ou d'un niveau à bulle. Des cordeaux sont utilisés pour permettre de réaliser des assises alignées.

Il ne faut pas vibrer excessivement les BTC pour les positionner sous peine de supprimer l'adhérence entre le bloc et le mortier. Frapper les BTC est également à proscrire, sous peine de fissurer ou déstabiliser les maçonneries précédemment mises en œuvre.

3.3.1.5. CADENCE DE POSE ET LIMITE D'ÉLÉVATION QUOTIDIENNE :

L'élévation, par jour, des maçonneries de BTC ne doit pas dépasser 10 fois l'épaisseur du mur (en 14 cm d'épais, 1,40 mètre maximum) au risque de désolidariser les premiers rangs par de trop fortes sollicitations latérales exercées sur l'ouvrage.

3.3.1.6 CONDITIONS CLIMATIQUES DE MISE EN OEUVRE

Il faut être très vigilant lors de la mise en oeuvre aux conditions climatiques, particulièrement si celles-ci sont chaudes [1] et venteuses.
Une dessication trop rapide de la maçonnerie peut entraîner l'apparition de fissures dues à un retrait important.

En règle générale, et par temps très chaud, dès que la température est durablement supérieure à 30 °C, et encore plus au-dessus de 35 °C [1], Il sera préférable de préparer des petites quantités de mortier utilisable rapidement [2].

Quelques précautions simples peuvent également être prises : maçonner aux heures les moins chaudes, travailler sur les parties d'ouvrage non exposées au soleil et au vent, protéger les maçonneries de la dessiccation (arrosage léger, produit de cure ou bâche (paillassons humides, films plastiques, etc.). Cette

protection doit être maintenue en place durant les premières heures voire quelques jours selon l'évolution des conditions climatiques.

NOTE (1) De manière générale, les liants (chaux et ciment) ne doivent pas être utilisés à des températures supérieures à 35°c.

NOTE (2) Les mortiers avec liant sont sensibles aux paramètres que sont la température, l'hygrométrie, la vitesse du vent, qui agissent sur : la rhéologie du mortier et son évolution ; la vitesse de prise ; la cinétique de son durcissement et sa dessiccation. Cela influence sensiblement l'ouvrabilité mais également, à terme, la résistance mécanique du mortier, donc celle du mur.

3.3.1.7. PROTECTION DES OUVRAGES EN COURS DE CHANTIER

Lors des épisodes pluvieux, il convient de protéger la tête de mur, et particulièrement les plans de pose, des ouvrages en cours de réalisation.

Les assises fraîchement maçonnées doivent également recevoir une protection qui doit être maintenue durant tout l'épisode pluvieux si celui-ci est continu.

3.3.1.8. PROTECTION CONTRE LES DOMMAGES MÉCANIQUES

Durant le chantier et jusqu'au repli de celui-ci, il faut, si possible, protéger les surfaces des murs et spécialement les angles saillants des chocs qui pourraient les endommager. Ces dommages sont le plus souvent dûs à la manutention d'éléments lourds durant le chantier (coffrages, échafaudages, outils divers) ou aux manoeuvres d'engins et véhicules évoluant sur le site.

3.3.1.9. REPRISE DE L'ÉLÉVATION DE LA MAÇONNERIE

Lors de la reprise des travaux de maçonnerie, il convient de s'assurer que le plan de pose soit propre et dépoussiéré.

3.3.1.10. JOINTOIEMENT ET REJOINTOIEMENT

La liaison des blocs doit être correctement faite dans les deux directions de l'appareil des blocs, par la réalisation des joints horizontaux et verticaux.
Les joints verticaux doivent être bien bourrés.

L'excédent de mortier doit être raclé immédiatement après la pose du bloc et, si possible, les joints doivent être réalisés à frais pour une meilleure tenue (et limiter les tâches de laitance). Le joint en cours d'exécution doit être serré avant qu'il ne perde sa plasticité.

La finition des joints peut être faite en demi-rond, en triangle ou au nu des blocs. Ils seront serrés avec un fer à lisser ou à la langue de chat.

Sauf indication contraire, le profil du joint en retrait aura une profondeur maximale de 5 mm.
Les joints en retrait de plus de 5 mm ne sont pas recommandés car ils peuvent entraîner une stagnation d'eau sur le dessus du bloc.

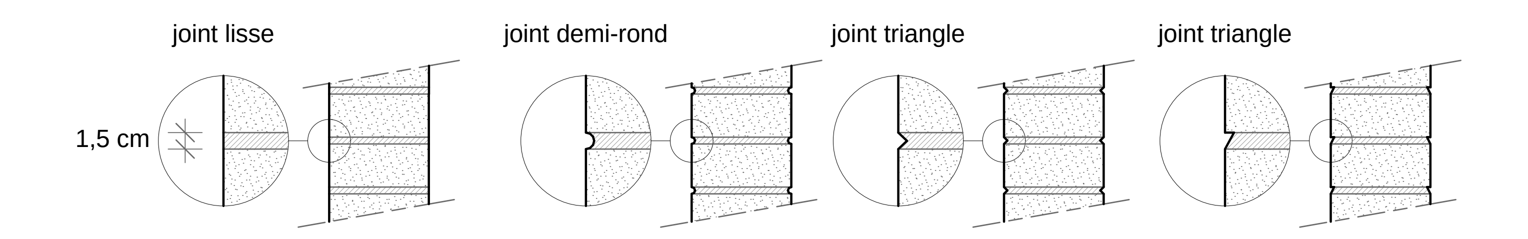
Les joints peuvent également être légèrement creusés si le mur est destiné à

être rejointoyé ultérieurement.
Lorsqu'un rejointoiement doit être effectué, la profondeur du grattage du mortier non durci est d'au moins 15 mm , sans dépasser 15 % de l'épaisseur du mur mesurée à partir de la surface finie [1].

NOTE (1) : Pour les blocs avec évidement, on ne dépassera par une profondeur maximum de 20 mm.

L'opération de rejointoiement est précédée d'un nettoyage de la zone entière et, si nécessaire, d'un mouillage pour obtenir la meilleure adhérence possible entre mur et mortier.

Les joints horizontaux et verticaux doivent présenter une épaisseur finie comprise entre 10 mm minimum et 15 mm maximum.



3.3.1.11. COUPE, TAILLE, PERÇAGE

Couramment, sur chantier, il est recommandé d'utiliser un ciseau de maçon et une massette pour couper les blocs aux dimensions requises. Il est également possible de réaliser les coupes à l'aide d'une meuleuse équipée d'un disque pour maçonnerie (type disque diamanté).
Les BTC contiennent des graviers et cailloux qui peuvent faire dévier du plan de coupe ou provoquer des éclats important des blocs. Le taux de perte des blocs sur chantier et de l'ordre de 5%.

On privilégiera si possible l'utilisation de blocs ¾ et ½ produits directement à ce format si un appareillage très soigné des maçonneries apparentes est souhaité.

Les tailles spéciales des blocs peuvent également s'effectuer à l'aide des mêmes outils (ciseaux de maçon ou meuleuse) mais également par perçage ou abrasion.

Les blocs se percent à l'aide de forets à béton (à pointe carbure ou diamanté) de préférence par abrasion et enlèvement de matière. Le perçage s'effectue par rotation sans percussion ou par rotation et percussion rapide à faible intensité avec une perceuse à percussion. On évitera l'usage de marteau perforateur délivrant une percussion lente à forte intensité.
Pour les perçages précis, il est recommandé d'utiliser des forets pour métaux.

Une scie cloche avec lèvres diamantées peut être utilisée pour réaliser les réservations des boites électriques rondes.

Le nettoyage des surfaces après la coupe ou des trous après le perçage, par aspiration ou soufflage, est indispensable. Une surface qui n'est pas nettoyée réduira la capacité d'adhérence entre matériaux. La poussière de forage ne permet pas une fixation correcte de la cheville dans le trou.

3.3.1.12. MISE EN CHARGE DE LA MAÇONNERIE

La maçonnerie ne doit pas être chargée avant d'avoir atteint une résistance suffisante pour supporter la charge sans dommage.
La résistance du mortier avec liant hydraulique à 7 jours et d'environ 60 % de sa résistance maximale. On considère qu'il atteint sa résistance "conventionnelle" après 28 jours (80 % de la résistance maximum).

3.3.1.13 FINITION DE LA MAÇONNERIE

La disparition de l'humidité en excès dans le mur prend du temps, le séchage sera plus ou moins rapide en fonction de l'épaisseur du mur, de son niveau de ventilation, de la température ambiante et enfin des apports d'eau au moment de la mise en oeuvre (humidité des mortiers et des blocs, intempéries) ou de la mise en oeuvre des matériaux environnants.

Il conviendra d'être attentif à ce que la paroi ne présente pas un taux d'humidité trop important avant la mise en oeuvre des revêtements de finitions (peintures, enduits,etc.). Il est fortement recommandé de respecter un délai minimum de séchage de 2 mois avant que ceux-ci ne soient réalisés.

Une fois la maçonnerie sèche, si nécessaire, elle peut être balayée et/ou aspirée afin d'éliminer des grains et poussières non adhérentes.
Pour uniformiser l'aspect, limiter les effets de laitance et quelques défauts visuels, un léger égrainage de la surface de la maçonnerie, sans trop insister, avec un abrasif - type papier de verre de grain 120 - peut être effectué.

La maçonnerie peut alors être laissée brute, ou, si nécessaire, une finition peut être appliquée *(Cf. 3.6.11. Finition - Revêtement intérieur et extérieur).*

Si le mur est destiné à être enduit, il doit être soigneusement brossé (brosse métallique). Le mur ne doit pas absorber l'eau contenue dans l'enduit sous peine de compromettre sa prise et son durcissement et de réduire son adhérence. Il faut donc humidifier le mur pour éviter une succion capillaire sans trop le mouiller pour ne pas créer un film d'eau superficiel qui limiterait l'adhérence de l'enduit.
Il ne faut jamais enduire un mur de terre avant que le tassement du mur ne se soit opéré. Il faut donc attendre un achèvement complet du gros oeuvre y compris toutes charges de planchers et toitures.

3.3.2. SÉCURITÉ DES INTERVENANTS

Les mesures de sécurité à prendre sont identiques à celles concernant la réalisation d'un ouvrage en maçonnerie classique de petits éléments.
Il n'existe pas de conditions spécifiques de sécurité liées à la mise en oeuvre de murs en BTC.

Suivant l'importance des ouvrages à réaliser, les dispositions de sécurités peuvent être détaillées dans un PPSPS permettent d'assurer la sécurité des intervenants pendant toute la durée du chantier.

3.4. CARACTÉRISTIQUES DU MATÉRIAU EN ŒUVRE

Cette partie décrit les caractéristiques du BTC et a pour objectif de donner une indication aux bureaux d'études lors de la phase de conception.
La constitution des maçonneries de BTC, tout comme la fabrication du matériau, sont sujets à variations en fonction de la ressource choisie et du mode de mise en œuvre.
Ces facteurs déterminent les caractéristiques du matériau : densité, résistance mécanique, propriétés hydriques et thermiques.

3.4.1. DENSITÉ SÈCHE

La valeur moyenne la plus couramment obtenue est de l'ordre de 1,9.
La densité sèche [1] d'un bloc peut cependant varier entre 1,8 et 2,1.
Soit une masse volumique sèche ρ comprise entre 1 800 kg/m^3 et 2 100 kg/m^3 pour une valeur moyenne de 1 900 kg/m^3.

NOTE 1 : Cette variation est liée à la fabrication du bloc : constituants et volumes des mélanges et type de presse utilisée. Les blocs produits à Mayotte présentent une valeur moyenne de 1,9, pour une variation comprise entre 1,8 et 2.
La densité influence de nombreuses caractéristiques du matériau. Dans la plupart des cas, lorsqu'elle augmente, la résistance caractéristique à la compression, l'inertie thermique et la conductivité thermique augmentent tandis que la capacité de rétention d'eau diminue.

3.4.2. RÉSISTANCE MÉCANIQUE

3.4.2.1. RÉSISTANCE À LA COMPRESSION

Pour ce qui concerne la résistance mécanique, on se rapportera au paragraphe 1.1.1 qui définit les classes de résistance caractéristique à la compression des blocs.
Les résistances minimales moyennes à la compression sèche f_b sont respectivement de :
BTC 20 = 2 MPa - BTC 40 = 4 MPa - BTC 60 = 6 MPa

Pour les murs susceptibles de subir une humidité importante, c'est la résistance en compression humide ($R_{min0.05}$ humide) qui devra être retenue dans le calcul de la charge admissible f_k.

3.4.2.2. RÉSISTANCE À LA TRACTION

La résistance à la traction par flexion du BTC f_{btm} représente 10% de la résistance à la compression.
Elle est l'ordre de 0,2 à 0,6 Mpa suivant les catégories.

3.4.2.3. RÉSISTANCE INITIALE AU CISAILLEMENT

La résistance caractéristique initiale au cisaillement de la maçonnerie, en l'absence de contrainte de compression est définie telle que f_{vko} = 0,10 Mpa(1)

NOTE (1) en l'absence d'essai spécifique, valeur minimale de référence pour mortier d'usage courant. Valeur conservatrice volontairement inférieure à celle issue de l'Eurocode 6, calcul des ouvrages en maçonnerie.

3.4.2.5. MODULE D'ÉLASTICITÉ

Le module de Young (E_{BTC}) est couramment compris entre 1,5 et 4 GPa suivant les catégories de BTC utilisés

3.4.2.4. MODULE DE CISAILLEMENT

Le module de cisaillement G_{BTC} du BTC est défini conventionnellement tel que $G_{BTC} = 0{,}4 \cdot E_{BTC}$

3.4.2.6. COEFFICIENT DE POISSON

Coefficient de Poisson du BTC :
ν_{BTC} : de 0,2 à 0,3

3.4.2.7. VALEUR DE FLUAGE

La valeur de fluage ϕ_c pour une maçonnerie porteuse de BTC de 22cm d'épaisseur est définie comme comprise entre 2 et 3 [1].

NOTE (1) : thèse de Nicole B. Trujillo de l'Université du Nouveau Mexique "MIX DESIGN AND MECHANICAL CHARACTERIZATION OF STABILIZED COMPRESSED EARTH BLOCKS AND ASSEMBLIES FOR THE JEMEZ PUEBLO IN NEW MEXICO" proposent un coefficient de fluage moyen de 2.21 pour des BTC stabilisés hourdés au mortier de ciment et chargés à 20% de la valeur de ruine pendant 56 jours

3.4.3. PROPRIÉTÉS THERMIQUES

Les valeurs suivantes sont données à titre indicatives. Il conviendra de les préciser par des essais dans le cadre de projet spécifique où une performance particulière sera recherchée.

3.4.3.1. CONDUCTIVITÉ THERMIQUE

La conductivité thermique λ_{BTC} du BTC considéré comme sec [1] est usuellement comprise entre 0,42 [2] et 1,00 W/m.K avec une valeur moyenne de l'ordre de 0,80 W/m.K [3]

Les valeurs de conductivité thermique du BTC peuvent être évaluées par essais suivant les normes NF EN 12664 et NF EN 12667 (détermination de la résistance thermique par la méthode de la plaque chaude gardée et la méthode fluxmétrique) et norme NF EN 1745 (maçonnerie et éléments de maçonnerie - Méthodes pour la détermination des propriétés thermiques).
Les maçonneries en BTC peuvent recevoir, si nécessaire, une isolation thermique par l'intérieur ou par l'extérieur.

NOTE (1) : Soit une teneur en eau des bloc de BTC de l'ordre de 0,5% à 1,5%
NOTE (2) : un test de mesure de la conductivité thermique au fil chaud sur un bloc BTC a donné un résultat de λ_{BTC} = 0,416 W/m.K. Source : ESIROI - Université de la réunion. ADEME - Caractérisation thermique de briques – 2014
NOTE (3) : suivant plusieurs sources : Rapport d'essai BTC bloc Terrabloc (Prüfung der Wärmeleitfähigkeit gemäss SN EN 1745 / mittels Wärmestrommessplatten-Gerät nach SN EN 12664) et Analyse des caractéristiques des systèmes constructifs non industrialisés, Rapport final, CSTB 2007, par exemple

3.4.3.2. CAPACITÉ THERMIQUE MASSIQUE

La capacité thermique massique C moyenne [1] du BTC est de l'ordre de 800 J. $kg^{-1}.K^{-1}$

NOTE (1) : À pression constante dans les conditions normales de température et de pression.

3.4.3.3. COEFFICIENT D'ABSORPTIVITÉ

Le BTC brut et non recouvert d'une finition peut présenter de légères variations de teintes en fonction des terres et des liants utilisés.
Le coefficient moyen d'absorptivité α pour les BTC nus est compris entre 0,55 à 0,65

3.4.4. PROPRIÉTÉS HYDRIQUES

Les valeurs suivantes sont données à titre indicatives. Il conviendra de les préciser par des essais dans le cadre de projet spécifique où une performance particulière sera recherchée.

Le bloc de terre comprimée est un matériau poreux insaturé, constitué de grains solides et de pores partiellement remplis d'air et d'eau sous forme gazeuse ou liquide. Cette microstructure, couplée à une affinité plus ou moins forte des argiles avec l'eau, confère à la terre des propriétés hydriques particulières et une aptitude à des échanges avec l'air ambiant.
Elles peuvent s'avérer intéressantes pour la régulation des ambiances intérieures et du confort, ainsi que pour le bilan thermique général des bâtiments.

3.4.4.1. TENEUR EN EAU RÉSIDUELLE

Dans des conditions courantes de température et de pression, avec une humidité relative inférieure à 70%, la teneur en eau massique des murs en terre est de l'ordre de 1%, valeur pour laquelle la résistance mécanique est maximale.

Cette teneur en eau [(1)], résiduelle, d'une terre à l'équilibre dépend :

- de l'humidité relative et de la température,
- de la taille, de la forme et du nombre de pores,
- de l'affinité des argiles avec l'eau.

NOTE (1) Elle peut usuellement varier entre 0,5 et 2% en fonction de ces différents paramètres. On considère dans la pratique, quelle est atteinte après 12 à 24 mois.

3.4.4.2. PERMÉABILITÉ ET RÉSISTANCE À LA VAPEUR D'EAU

La perméabilité à la vapeur d'eau δ_{BTC} du BTC est de l'ordre de $1{,}27.\ 10^{-10}$ kg.(m.s.Pa)$^{-1}$

Le facteur de résistance à la vapeur d'eau [(1)] µ du BTC est au maximum de 15 pour une masse volumique de 1900 kg/m^3 et pour une humidité relative de 75%.

Les valeurs les plus couramment relevée sont de l'ordre de 10.

NOTE (1). On définit le facteur de résistance à la diffusion d'un matériau comme le rapport de la perméabilité à la vapeur d'eau de l'air sur sa propre perméabilité.
Soit : $\mu = \delta o/\delta p$

3.4.4.3. COEFFICIENT D'ABSORPTION D'EAU

Le coefficient A d'absorption d'eau du BTC a une valeur moyenne [(1)] inférieur à 0,7 kg/(m^2.s$^{0.5}$)

NOTE (1). La norme NF EN ISO 15148 datant d'octobre 2003 et relative aux «Performances hygrothermiques des matériaux et produits pour le bâtiment – Détermination du coefficient d'absorption d'eau par immersion partielle» présente une méthode de mesure de ce coefficient. Cette norme précise le protocole de mesure du coefficient d'absorption ainsi que son domaine d'utilisation.

3.4.5. VARIATIONS DIMENSIONNELLES

3.4.4.3. DILATATION HYGRO-THERMIQUE RÉVERSIBLE

La dilatation linéaire ou Retrait/Gonflement à l'humidité ou à long terme des maçonneries de BTC varie de - 0,45 (retrait) à + 0,3 mm/m (gonflement)

3.4.6. RÉCAPITULATIF DES CARACTÉRISTIQUES DU MATÉRIAU

Caractéristiques du matériau				
MÉCANIQUE	**Symbole**	**BTC 20**	**BTC 40**	**BTC 60**
Masse volumique	ρ	1900 kg/m³ (de 1800 à 2100 kg/m³)		
Résistance moyenne à la compression du bloc	f_b	2 MPa	4 MPa	6 MPa
Résistance moyenne à la traction du bloc	f_{btm}	0,2 MPa	0,4 MPa	0,6 MPa
Cisaillement (G = 0,4.E)	G	0,6 GPa	1 GPa	1,6 GPa
Module de Young	E	1,5 GPa	2,5 GPa	4 GPa * * pouvant monter à 5,5 GPa
Coefficient de Poisson	ν	0,2	0,25	0,3
Résistance au cisaillement de la maçonnerie à l'origine	f_{vko}	0,10 Mpa	0,10 Mpa	0,10 Mpa
Coefficient de fluage ultime	ϕ_c	2 à 3	2 à 3	2 à 3
Retrait/Gonflement à l'humidité ou à long terme		-0,45 à +0,3 mm/m	-0,45 à +0,3 mm/m	-0,45 à +0,3 mm/m
Coefficient de dilatation thermique		6 à 12 10^{-5}/K	6 à 12 10^{-5}/K	6 à 12 10^{-5}/K
HYDRIQUE				
Teneur en eau massique		1 %* * pouvant usuellement varier entre 0,5 et 2%		
HYGROTHERMIQUE				
Conductivité thermique	λ	0,416 $W(m.K)^{-1}$		
Capacité thermique (à 20°C)	C	800 $J(kg.K)^{-1}$		
coefficient d'absorptivité (bloc nu)	α	de 0,55 à0,65		
Perméabilité à la vapeur d'eau	$\delta\ (\pi)$	1.27. 10^{-10} $kg.(m.s.Pa)^{-1}$		
Résistance à la vapeur d'eau	μ	15		
Coefficient de transport capillaire	A	$A \leq 0.7\ kg/m^2s^{1/2}$		

Tableau 11 : récapitulatif des caractéristiques du matériau

4 CONTRÔLE DE QUALITÉ MATIÈRE, MATÉRIAU & MISE EN ŒUVRE / PAQ

Le contrôle qualité doit être différencié en deux parties distinctes, car le producteur et l'entreprise de maçonnerie interviennent à des moments différenciés.

Les contrôles détaillés ci-après 4.2. contrôle de production et 4.3. contrôle d'exécution permettent d'assurer la maîtrise de la constance des performances des éléments constitutifs de la maçonnerie.

Un contrôle qualité concernant la réception des lots est décrit dans la norme XP P 13-901. annexes B et C. Il pourra être appliqué si les contrôles qualités de production n'ont pas été réalisés conformément à la partie ci-après (contrôle de production) et que les caractéristiques des blocs ne peuvent pas être garanties pas le producteur.

4.1. NIVEAUX DE SÉCURITÉ ET GESTION DE LA FIABILITÉ

Cette partie propose un cadre d'évaluation et de contrôle de la constance des performances et de la gestion de la fiabilité pour les maçonneries en BTC à la fois au niveau de la production et au niveau de l'exécution.
Il permet de définir le coefficient de sécurité γ_M applicable à la maçonnerie de BTC.

4.1.1. NIVEAUX DE SÉCURITÉ ET CONTRÔLE DE PRODUCTION

Les systèmes d'évaluation et de vérification de la constance des performances sont définis comme suit [1] :

- **Système A**, avec suivi de conformité du contrôle de production en usine, y compris des essais par sondage sur des échantillons prélevés par un organisme tierce partie (OTP) [2] ;
- **Système B,** par auto-déclaration du fabricant .

NOTE (1) Le Système A correspond au niveau 2+ et le système B au niveau 4 suivant Le règlement délégué (UE) n568/2014, du 18/02/2014, modifiant l'annexe V du RPC - dans le cadre d'un marquage CE
NOTE (2) L'organisme tierce partie (OTP) est un organisme habilité ou présentant les compétences à pratiquer cette évaluation. Il remplace ici la qualification d'ON ou « organisme notifié » nécessaire dans le cadre d'un marquage CE. Cette qualification ne s'applique pas dans ce cas, car il n'existe pas de norme harmonisée européenne sur les BTC avec une annexe ZA.

Les catégories de maçonnerie sont définies comme suit :
- Pour le système A : Élément dont la résistance est déclarée avec une probabilité de 5% de ne pas atteindre cette valeur. Cette catégorie ne peut être atteinte que par mise en place d'un système d'évaluation et de vérification de la constance des performances défini dans le tableau suivant ;

- Pour le système B : Élément n'étant pas censé présenter le niveau de confiance spécifié pour les éléments de maçonnerie du système A. Elle correspond à la mise en place d'un système d'évaluation et de vérification de la constance des performances défini dans le tableau suivant.

Tableau 12 : Systèmes d'évaluation et de vérification de la constance des performances

SYSTÈMES D'ÉVALUATION ET DE VÉRIFICATION DE LA CONSTANCE DES PERFORMANCES		
Système	**A**	**B**
Contrôle de la production en usine (éventuellement essai)	F	F
Inspection initiale et périodique du système de contrôle de production	OTP	
Essai de type initial avec d'échantillon choisi par le fabricant	F	F

F : sous la responsabilité du Fabricant
OTP : mené par un organisme tierce partie notifié choisi par le fabricant

Coefficient partiel γ_M pour la maçonnerie BTC :

Celui-ci est défini dans la partie *3.3.5. Calcul de la résistance à la compression admissible* tel que γ_M =3,3. Cette valeur correspond à la valeur maximale de référence issue de l'Eurocode 6
Ce coefficient partiel peut être diminué dans le cas où un niveau de contrôle correspondant au système A est mis en place.

Le choix du coefficient γ_M à appliquer à la valeur de résistance déclarée de la maçonnerie afin d'obtenir la valeur de calcul est défini suivant le tableau ci-dessous

Tableau 13 : coefficient γ_M en fonction des différents niveaux de contrôle et de supervision

Niveau de controle	γ_M
système A	**2,7**
système B	**3,3**

4.1.2. NIVEAUX DE SÉCURITÉ ET CONTRÔLE D'EXÉCUTION

Suivant la catégorie d'importance du bâtiment considéré, il pourra être défini le niveau de supervision de projet ainsi que le niveau de contrôle.
Dans le cadre de ce document, seuls les niveaux de contrôle de production définie à la partie précédente influe sur la valeur du coefficient partiel γ_M.

Dans tous les cas il est fortement recommandé de mettre en place un plan d'assurance qualité (PAQ) pour les opérations de suivi de chantier (voir partie 4.3. Contrôles qualité d'exécution)

Ces opérations de contrôles seront précisées suivant l'importance du bâtiment considéré. Elles pourront s'établir alors suivant trois niveaux [1] d'importance pour qualifier l'entreprise :

1. un contrôle interne ou auto controle de l'entreprise de maçonnerie - du maçon (pas de contrôle externe par une tierce partie)
2. Définition d'un plan d'assurance qualité (PAQ) pour le chantier (2). Contrôle non continu du PAQ par le maître d'ouvrage ou son représentant (3)
3. Définition d'un plan d'assurance qualité (PAQ) pour le chantier (2). Contrôle continu du PAQ par le maître d'ouvrage ou son représentant (3)

NOTE (1) : Ces trois niveaux s'inspirent des niveaux IL (inspection Level) classés de 1 à 3 suivant la NF EN 1990
NOTE (2) : Le PAQ (Plan d'Assurance de la Qualité) doit notamment traiter :
– de la compétence du personnel d'exécution des travaux ;
– du choix des produits utilisés, en correspondance avec les prescriptions ;
– de la réalisation des ouvrages, conformément aux documents de référence.
NOTE (3) : Ce contrôle n'est pas nécessaire si l'entreprise de mise en œuvre est titulaire d'une certification d'assurance qualité délivrée par un organisme accrédité (par exemple certification Qualibat).

4.2. CONTRÔLES QUALITÉ DE PRODUCTION

GÉNÉRALITÉS

Le contrôle de la production est une surveillance régulière de la production par le fabricant, permettant de garantir que les produits de construction en production répondent aux règles techniques déterminantes et aux valeurs déclarées. Ce contrôle permet de justifier de la conformité du produit.
Le fabricant est responsable du déroulement du contrôle de la production. Il doit disposer du personnel spécialisé, des dispositifs et appareils adaptés ou bien confier le contrôle de production à une structure externe appropriée.

Le contrôle qualité de production porte sur plusieurs aspects :
- **Les matières première ;**
- **Les procédés et les équipements de productions ;**
- **Les matériaux produits (contrôle final).**

4.2.1. LE CONTRÔLE QUALITÉ DES MATIÈRES PREMIÈRES

4.2.1.1. TERRES

Les contrôles qualité des terres utilisées reposent sur les analyses à mener définies à la partie 4.1.2. qui doivent permettre de vérifier les caractéristiques des matières première donnés dans la XPP 13-901- Annexe A.
Il convient au producteur de s'assurer de la convenance des terres utilisées suivant ces contrôles.

4.2.1.2 LIANT

Les Liants doivent respecter les prescriptions données dans la XPP 13-901.

Tableau 14 : récapitulatif des opérations de contrôle qualité des matières premières

VÉRIFICATION DES MATIÈRES PREMIÈRES			
Désignation	**Objectif**	**Méthode / contrôles/ essais**	**Fréquence**
Matières premières (terres) à l'extraction ou à la livraison sur le site de production	S'assurer de la convenance de la matière	Essais selon XPP 13901 Annexe A	Avant première utilisation de la terre. En cas de changement d'origine (gisement/carrière) En cas de doute, par exemple sur un changement de la nature des matériaux livrés. et au minimum une fois par an.
Toutes les matières premières provenant d'un fournisseur (par exemple liant ; ciment et chaux)	S'assurer des caractéristiques et qualité des produits livrés	Contrôle de l'étiquetage / caractéristique technique et date d'utilisation Contrôle visuel de l'état des marchandises livrées	A chaque livraison

4.2.2. LE CONTRÔLE QUALITÉ DES PROCÉDÉS DE PRODUCTION

4.2.2.1. STOCKAGE DES MATIÈRES PREMIÈRES / AGRÉGATS ET LIANT

Un contrôle visuel quotidien doit être effectué afin de vérifier les conditions du bon stockage des matières premières tel que défini à la partie 4.1.7.
En cas de souillure, mélange inappropriée ou dégradations des matières premières, les volumes des matériaux concernées doivent être rejetées de la production et faire l'objet d'une mise en décharge.
Ce contrôle devra faire l'objet d'une mention sur une fiche de contrôle.

4.2.2.2. DOSAGE ET MALAXAGE DES MATIÈRES PREMIÈRES

Un temps de malaxage minimum doit être défini pour chacune des formulations mises au point. Il doit être tel qu'il permette l'obtention d'un mélange homogène. Ce temps de malaxage minimum devra être respecté en production et, pour cela, devra faire l'objet d'une mesure (minuteur, chronomètre, autre...).

En cas d'utilisation de liant hydraulique, le temps d'utilisation maximum du mélange après l'introduction d'eau ne doit pas excéder 25 minutes.
Il est d'environ 2 heures pour une chaux aérienne. Tout mélange ayant dépassé son temps limite d'utilisation sera rejeté et mis au rebut.
Afin de facilité le contrôle de ce temps d'utilisation, les volumes de chaque mélange seront calculés en fonction des capacité de production de la ligne de compression dans cette limite de temps.

A l'issue du malaxage des différents composants et avant compression, la qualité du mélange (homogénéité, couleur, humidité et granularité) fait l'objet d'un contrôle visuel. Le mélange ne doit pas présenter de partie agglomérée, sèche ou humide, de mottes ou encore de nodules d'argile non désagrégés.
Toute particularité observée devra faire l'objet d'une mention sur une fiche de contrôle et portera la référence du lot produit concerné.

4.2.2.3. COMPRESSION / MOULAGE

Au moment du passage de la matière malaxée a l'étape de compression, il devra être vérifier le bon remplissage en matière, volume et répartition, du

doseur ou du moule-doseur le cas échéant, à chaque action de compression dans le cas d'une presse manuelle et au moins au démarrage et à la fin d'un mélange distinct et homogène dans le cas d'une presse automatisée.
La propreté des doseurs et des moules sera vérifié au début de chaque journée de production et régulièrement, tous les 150 blocs minimum.

4.2.2.4. CONDITION ET TEMPS DE CURE DES MATÉRIAUX PRODUITS

Les conditions de cure décrites à la partie 4.1.8 doivent être respectées.
Un contrôle visuel du stockage des lots en cure humide sous bâche imperméable sera quotidien durant la première semaine de cure. Le contrôle portera sur la qualité du bâchage des lots, parfaitement enveloppés et le plus hermétiquement possible. Les bonnes conditions de cure sont vérifiés par la présence d'eau (gouttes, gouttelettes ou pellicule humide) sur la face intérieure du film étanche (bâche) de cure.

Le contrôle visuel sera hebdomadaire pour les semaines qui suivent.

Le temps de cure décrit à la partie 4.1.8 doivent pouvoir être vérifiés
Pour cela les lots devront être identifiés par journée de production, marqués ou étiquetés, de telle sorte qu'aucune confusion entre lots ne soit possible. Chaque lot portera sa date de production, qui servira de date de référence, ainsi que toute autre indication permettant d'assurer un suivi du lot (nom du responsable de production, lot de matière première, dosage et type de liant utilisé, etc.)

En cas de bâche opaque, il sera procédé à un double étiquetage, à l'intérieur et à l'extérieur du film de cure.

La vérification du respect du temps de cure sera effectué au départ des lots (aire de stockage final ou chantier). Elle fera l'objet d'un enregistrement dans le cahier de contrôle et de suivi des lots

4.2.2.5. CONDITIONS DE STOCKAGE FINAL DES BLOCS PRODUITS

Elles seront vérifié visuellement une fois par semaine. Le stockage final des produits se fera de préférence abrité de la pluie et isolé des remontés capillaires du sol ou des stagnations d'eau.

Tableau 15 : récapitulatif des opérations de contrôle qualité des procédés

VÉRIFICATION DES PROCÉDÉS DE FABRICATION			
Désignation	**Objectif**	**Contrôles/ essais**	**Fréquence**
Stockage des matières premières	Éviter les mélanges et souillures et assurer des conditions de stockage adaptées	Contrôle visuel	Une fois par jour
Dosage avant malaxage	Vérification de la propreté de l'usure, du bon fonctionnement des doseurs	Contrôle visuel	Une fois par jour en début de production
Malaxage	Vérification de la propreté de l'équipement	Contrôle visuel	Une fois par jour en début de production
	Respect des temps minimum et maximum de malaxage	Minutage	À chaque mélange
Compression/ moulage	Vérification de la propreté des moules	Contrôle visuel	Une fois par jour en début de production Au minimum tous les 150 blocs
	Vérification du dosage / remplissage du moule	Contrôle visuel	A chaque compression si presse manuelle / Au début et fin de chaque lot de mélange si presse automatisée
Cure des blocs	S'assurer du respect des bonnes conditions de cure	Contrôle visuel	Une fois par jour
	Vérifier le temps de cure humide minimal	Identification des lots (marquage ou étiquetage)	Avant stockage final ou vente
Stockage des blocs	Éviter la présence trop importante d'humidité	Contrôle visuel	Une fois par semaine
	Vérifier l'isolement des productions non conformes	Contrôle visuel	Une fois par semaine

4.2.2.6. CONTRÔLE DES ÉQUIPEMENTS DE PRODUCTION

Le tableau 20 ci -après présente les différents éléments du contrôle à effectuer sur les équipements de production.

Des contrôles différents de ceux mentionnés dans ce tableau pourraient s'avérer nécessaire en adaptation aux spécificités des équipements utilisé.

Tableau 16 : récapitulatif des opérations de contrôle qualité des équipements de production

VÉRIFICATION DES ÉQUIPEMENTS DE PRODUCTION			
Désignation	**Objectif**	**contrôles/essais**	**Fréquence**
Malaxeur	Vérification de l'usure du matériel	Contrôle visuel	Une fois par jour en début de production
Presse de fabrication	S'assurer du bon fonctionnement de la presse	Contrôle visuel	Une fois par jour en début de production
	Vérification du taux de compression	Par calcul des masse volumique des blocs produits (dimensions+pesage)	Lors de l'installation puis à chaque révision - au minimum une fois par an
Moules	Vérification Conformité et usure	Contrôle dimensionnel des blocs produits (voir ci après contrôle des produits)	En cas de problèmes constaté sur la conformité des produits ou lors du remplacement du moule
Doseur à matières premières	Vérifier la précision du dosage	Vérification des quantités délivrées (volumes et/ou poids)	Lors de l'installation, en cas de doute ou, au minimum, une fois par an

4.2.3. LE CONTRÔLE QUALITÉ DES MATÉRIAUX PRODUITS

4.2.3.1. GÉNÉRALITÉS

Le fabricant doit vérifier régulièrement les propriétés des blocs de terre.
Le contrôle qualité des blocs sera réalisé conformément au différents essais décrit dans la norme XPP 13-901. Il peut être réalisé suivant :

- les conditions du plan de contrôle de réception décrit dans l'annexes B de la XPP 13-901 ;
- ou selon le protocole de contrôle produit décrits ci-après.

Les contrôles seront différenciés suivant les catégories de bloc :
S : usage en milieu sec (contrôles de type 1 selon XPP 13-901)
H : usage en milieu humide (contrôles de type 2 selon XPP 13-901)

Le protocole d'essais portent sur les caractéristiques suivantes :

- vérifications d'aspect (blocs catégories S et H)
- vérifications dimensionnelles (blocs catégories S et H)
- vérifications du coefficient d'absorption d'eau par capillarité (blocs catégorie H)
- vérifications d'amplitude des variations dimensionnelles (blocs catégorie H)
- résistances mécaniques - compression sèche (blocs catégories S et H)
- résistances mécaniques - compression humide (blocs catégorie H)
- résistance à l'abrasion (blocs catégories S en apparent (A) et H)

Les vérifications sont effectuées successivement dans l'ordre de la liste ci-dessus et selon les catégories de blocs considérés. En cas de non-conformité du lot pour une des caractéristiques, les essais suivants ne sont pas effectués.

Chaque contrôle fait l'objet de l'élaboration d'une fiche ou d'un rapport de contrôle qui seront archivés.

4.2.3.2. DÉSIGNATION DU RESPONSABLE

La responsabilité des contrôles et essais incombe au producteur. Ils sont effectués soit sous forme d'auto-contrôle, par un technicien formé spécifiquement pour cela, soit par un tiers désigné ou encore, par un laboratoire agréé (voir partie 6.2.1. pour la désignation de ces organismes).

Le producteur, ou l'organisme désigné pour assurer le contrôle assisté du producteur ou de son représentant, effectue les prélèvements.

4.2.3.3. MÉTHODOLOGIE DE CONTRÔLE

ÉCHANTILLONNAGE : CHOIX ET MARQUAGE

Le contrôle sur blocs doit être effectué sur des lots identifiés et après la fin de leur période de cure.

La validité de l'ensemble des contrôle est prononcée au vu d'un plan d'échantillonnage double par attributs (cf NF X 06-021).
L'échantillonnage est effectué sur un lots de contrôle maximum, noté $L_{max,}$ provenant d'une même fabrication. Une fourniture ou une fraction inférieur compte pour un lot.

L'échantillonnage est défini par le nombre de blocs à prélever sur le lot de contrôle concerné, il est noté N_b .

Les blocs sont affectés d'une marque permettant d'identifier le lot dont ils sont issus.

Les valeurs du lots de contrôle L_{max} et nombre de blocs à prélevé N_b sont définis ci-après (§ 5.2.3.4.) par type de contrôle.

INTERPRÉTATION DES RÉSULTATS DES ESSAIS - CONDITIONS DE CONFORMITÉ DU LOT

La vérification est effectuée sur la moitié des blocs pris au hasard dans l'échantillon N_b prélevé sur le lot concerné L_{max}

Soit K1 le nombre total d'éléments défectueux
- le lot est conforme si K1 = 0 ;
- le lot est non conforme si K1 ≥ 2
Si K = 1 : la vérification est effectuée sur la moitié des blocs restant de l'échantillon N_b.

Soit K2 le nombre total d'éléments défectueux dans les deux prélèvements de l'échantillons N_b :
- le lot est conforme si K2 =1 ;
- le lot est non conforme si K2 ≥ 2

Des conditions spécifiques de non conformité sont également décrites ci-après (§ 5.2.3.4.). par type de contrôle. .

4.2.3.4. ÉCHANTILLONNAGE PAR LOT ET PAR TYPE DE CONTRÔLE

VÉRIFICATIONS D'ASPECT

- N_b : 10 blocs sur un échantillon L_{max} de 5000 blocs pris au hasard par fraction de 500 blocs
- blocs catégories S et H

VÉRIFICATIONS DIMENSIONNELLES

- N_b : 10 blocs sur un échantillon L_{max} de 5000 blocs pris au hasard par fraction de 500 blocs
- blocs catégories S et H

VÉRIFICATIONS DU COEFFICIENT D'ABSORPTION D'EAU PAR CAPILLARITÉ (BLOC H UNIQUEMENT)

- N_b : 8 blocs sur un échantillon L_{max} de 16000 blocs pris au hasard par fraction de 2000 blocs
- blocs catégorie H

VÉRIFICATIONS D'AMPLITUDE DES VARIATIONS DIMENSIONNELLES

- N_b : 8 blocs sur un échantillon L_{max} de 16000 blocs pris au hasard par fraction de 2000 blocs
- blocs catégorie H

Conditions de conformité spécifique

Le lot est conforme si la moyennes des résultats obtenus sur le prélèvement est conformes aux spécifications. Dans l'hypothèse inverse, la vérification est effectuée sur les blocs restant de l'échantillon.
Le lot est conforme si les moyennes des résultats obtenus sur l'ensemble de l'échantillon sont conformes aux spécifications.
Dans l'hypothèse inverse, le lot est non conforme.

En outre, l'apparition de tout résultat < 0,8 fois la définition de la classe correspondante entraîne la non-conformité du lot.

VÉRIFICATIONS DE LA RÉSISTANCES MÉCANIQUES - COMPRESSION SÈCHE

- N_b : 10 blocs sur un échantillon L_{max} de 5000 blocs pris au hasard par fraction de 500 blocs
- blocs catégories S et H

Conditions de conformité spécifique

L'apparition de tout résultat < 0,8 fois la définition de la classe correspondante entraîne la non-conformité du lot.

VÉRIFICATIONS DE LA RÉSISTANCES MÉCANIQUES - COMPRESSION HUMIDE

- N_b : 10 blocs sur un échantillon L_{max} de 5000 blocs pris au hasard par fraction de 500 blocs
- blocs catégorie H

Conditions de conformité spécifique

L'apparition de tout résultat < 0,8 fois la définition de la classe correspondante entraîne la non-conformité du lot.

VÉRIFICATIONS DU COEFFICIENT DE RÉSISTANCE À L'ABRASION

- N_b : 6 blocs sur un échantillon L_{max} de 16000 blocs pris au hasard par fraction de 2000 blocs
- blocs catégories S en apparent (A) et H

Conditions de conformité spécifique

L'apparition de tout résultat < 0,8 fois la définition de la classe correspondante entraîne la non-conformité du lot.

Tableau 17 : récapitulatif des opérations de contrôle qualité des produits

VÉRIFICATION DES PRODUITS				
Désignation	**Objectif / méthodes**	**Méthode / contrôles/essais**	**Fréquence et échantillon**	**Catégorie de bloc**
Aspect	Conformité avec les valeurs déclarées et les tolérances associées selon XPP 13-901	Contrôle visuel + mesure suivant XPP 13-901	A tout changement de composition des mélange et pour Nb de 10 blocs et pour Lmax de 5 000	S et H
Dimensions	Conformité avec les dimensions déclarées et les tolérances associées selon XPP 13-901	Contrôle par mesure suivant XPP 13	A la mise en service d'un moule neuf ou révisé - après révision de la presse et pour Nb de 10 blocs et pour Lmax de 5 000	S et H
Absorption d'eau par capillarité	Conformité à la valeur déclarée et à la tolérance selon XPP 13-901	essai XPP 13-901	A tout changement de composition des mélange et pour Nb de 8 blocs et pour Lmax de 16 000	H
Variations dimensionnelles	Conformité à la valeur déclarée et à la tolérance selon XPP 13-901	essai XPP 13-901	A tout changement de composition des mélange et pour Nb de 8 blocs et pour Lmax de 16 000	H
Résistances mécaniques - compression sèche	Conformité avec la résistance en compression déclarée et déterminée selon XPP 13-901	essai XPP 13-901	A tout changement de composition des mélange et pour Nb de 10 blocs et pour Lmax de 5000	S et H
Résistances mécaniques - compression humide	Conformité avec la résistance en compression déclarée et déterminée selon XPP 13-901	essai XPP 13-901	A tout changement de composition des mélange et pour Nb de 10 blocs et pour Lmax de 5000	H
Résistance à l'abrasion	Conformité avec la catégorie de résistance à l'abrasion selon XPP 13-901	essai XPP 13-901	A tout changement de composition des mélange et pour Nb de 6 blocs et pour Lmax de 16 000	S+A et H

4.2.4. TRAÇABILITÉ

4.2.4.1. ENREGISTREMENT DES CONTRÔLES

Les résultats du contrôle de la production doivent être enregistrés et doivent pouvoir être exploités pour assurer un suivi efficace de la qualité de production.
Les enregistrements doivent être conservés et présentables sur demande.
Ils doivent comprendre à minima les essais de contrôle réalisés sur les matières premières et sur les produits.

Ils comprendront au moins les indications suivantes :

- désignation du produit ; date de la fabrication du produit ou de prélèvement le cas échéant
- type d'essai ;
- date de réalisation de l'essai ;
- résultats des essais exigés et des essais réalisés en plus et, si nécessaire, comparaison aux exigences ;
- nom et signature du responsable du contrôle de la production.

4.2.4.2. FICHE TECHNIQUE DU PRODUIT

La fiche technique du produit doit indiquée le type de bloc produits :

- catégorie de résistance en compression
- catégorie d'application ;
- désignation ;
- masse volumique ;

Cette fiche doit être jointe à la palette de livraison.

4.2.4.3. LIVRAISON

Les BTC fabriqués et contrôlés doivent être livrés accompagnés d'un bordereau de livraison où figurent les indications suivantes :

- Identification de l'entreprise de fabrication (nom et adresse) ;
- Identification du lot et références du fabricant ;
- Quantité et désignation des blocs livrés ;
- Date de la livraison ;
- Destinataire.

4.3. CONTRÔLES QUALITÉ D'EXÉCUTION

Les aspects de contrôle de la mise en oeuvre sur chantier devront prendre en compte les règles de conception et mise en oeuvre décrites, plus une liste de contrôle, établie à titre informatif, à modérer en fonction des spécificités du bâtiment concerné.

4.3.1. RÉCEPTION DES MATÉRIAUX

4.3.1.1. RÉCEPTION DES LOT DE BTC

Lors de la livraison, la réception est assurée par un responsable désigné de l'entreprise de pose des produits. Celui-ci s'assure de la conformité des blocs livrés par vérification de la fiche produit.

Il devra également s'assurer de l'état des lots livrés : humidité, dégradation lors du transport, etc. Le contrôle sera mené par une simple inspection visuelle. En cas de non convenance des lots de BTC, la livraison pourra être récusée.

En cas d'absence de contrôle qualité des BTC par l'entreprise de production, la réception des matériaux sur chantier pourra faire l'objet de contrôles à réception conformément à ceux décrits dans la norme porte XP P 13-901

Il est recommandé de connaître les résultats d'essai de résistance mécanique des lots de blocs réceptionnés avant l'utilisation des matériaux sur le chantier.

On veillera à une réception des blocs dont le temps de cure a été respecté pour une mise en œuvre conforme.

Il est également important que les blocs aient été stockés à l'abri de l'humidité afin d'éviter un trop grand retrait des ouvrages lors du séchage.
S'il existe un doute sur une humidité trop importante des blocs, il est recommandé de ne pas les utiliser immédiatement.

4.3.1.2. RÉCEPTION DES AGRÉGATS - SABLES POUR MORTIER

Les différents granulats destinée à la fabrication du mortier sont livrés sur chantier soit en vrac, soit sous conditionnement en big-bag.

Les contrôles effectués sont visuels, à partir d'un échantillon prélevé lors de chaque livraison : convenance des sables, sans pollution, conforme aux normes et en cohérence avec les spécifications techniques de l'opération (granulométrie).

4.3.1.3. RÉCEPTION DES LIANTS

La livraison se fait en sacs sur site. Le contrôle à la livraison permettra de vérifier que :

- Les produits livrés sont sains, non altérés (humidité) et sans défaut, conformes aux normes et en cohérence avec les spécifications techniques de l'opération.
- La validité des dates limites d'utilisation prescrites par le fabricant sont respectées.

4.3.1.4. STOCKAGE SUR SITE DES MATÉRIAUX

Les dispositions du bon stockage des matériaux tel que décrit à l'article 4.3.1.2 doivent être respectées.

4.3.2. CONTRÔLE DE MISE EN OEUVRE

Lors de la mise en oeuvre sur chantier une attention particulière est portée sur :

- les travaux préparatoires de chantier réception des supports, plans des réservations, etc. ;
- le respect du calepinage, en plan et en élévation,
- le respect des tolérances dimensionnelles
- Les conditions climatiques de mise en oeuvre, qui devront être conformes

à l'article *4.3.1.5 conditions climatiques de mise en oeuvre*

La verticalité des parois, leur épaisseur, l'épaisseur des joints et la planéité d'ensemble doivent être contrôlées par les chefs de chantier tout au long du montage.
Le contrôle du respect des tolérances dimensionnelles ainsi que le contrôle d'aspect, permettent de réceptionner les ouvrages.

4.3.2.1. CONTRÔLE DU CALEPINAGE EN PLAN ET EN ÉLÉVATION,

Un plan de calepinage des blocs doit été établi pour les assises courantes et les assises particulières du mur. Chaque maçon doit disposer de ces plans de calepinage.

Préalablement à la pose définitive, un contrôle du calepinage du premier rang se fera par un essai « à sec » afin de vérifier l'exactitude de celui-ci.
De petites erreurs de dimensions (soubassement, structure porteuse, etc.) peuvent être rattrapées en jouant sur les tolérances acceptables pour les épaisseurs des joints.
Il est souhaitable que ces opérations de préparation fassent l'objet d'une validation par les différents intervenants d'un chantier avant que le travail de maçonnerie lui-même ne soit démarré.

4.3.2.2. CONTRÔLE DE L'APLOMB ET DE L'HORIZONTALITÉ DES ASSISES

L'aplomb doit être contrôlé régulièrement, au fil à plomb ou au niveau.
Le niveau des assises doit également être contrôlé régulièrement, par exemple au moyen d'un niveau à bulle.

L'aplomb de la paroi peut être assurée par la mise en place au préalable de piges d'angle dont la bonne verticalité a été contrôlée. Celles-ci servent de guide de pose. Les blocs sont ensuite posés "au cordeau", tendu entre les piges, pour garantir un bon alignement des joints et une bonne horizontalité des assises.

Rappel : tolérances dimensionnelles
Le contrôle d'aplomb ne doit pas faire apparaître un défaut d'aplomb de ± 20 mm sur une hauteur d'étage (3.00 m maximum).
Dans la hauteur totale d'un bâtiment de trois étages ou plus l'écarts maximal admis pour les éléments de maçonnerie et de ± 50 mm

Sauf indication contraire, la première assise d'une maçonnerie ne pourra pas dépasser de plus de 15 mm du bord de la fondation ou du plancher d'implantation.

	ÉCART MAXIMAL
Aplomb (Verticalité)	
sur un étage (ou sur 3 m)	± 20 mm
sur la hauteur totale d'un bâtiment de 3 étages ou plus	± 50 mm
Écart d'implantation (Alignement vertical)	
écart d'implantation vertical à l'axe des structures	± 20 mm
Planéité (Rectitude)	
sur 10 m	± 50 mm
sur 1 m	± 10 mm
spécifique BTC : entre deux blocs (sur 30 cm)	± 5 mm
Épaisseur	
de la paroi d'un mur	± 5 mm

Tableau 8/18: rappel des tolérances géométriques et écarts maximum

4.3.2.3. CONTRÔLE DE L'ÉPAISSEUR DES MURS

Une mesure direct permettra de contrôler l'épaisseur des murs en cours de montage.

Rappel : tolérances dimensionnelles
La variation d'épaisseur admise du mur est de ±5 mm.

4.3.2.4. CONTRÔLE DE RECTITUDE (PLANÉITÉ DE LA PAROI)

La rectitude doit être contrôlé régulièrement au moyen d'un cordeau tendu sur 10 mètres à la surface du mur ou plus localement à l'aide d'une règle de 1 m minimum et ce dans toutes les directions du plan vertical du mur (horizontal, vertical, oblique).
D'un bloc à l'autre, dans le plan vertical du mur, un outil possédant une arrête rectiligne (comme une règle courte de 30 cm) permettra d'assurer un contrôle de rectitude et de vérifier qu'il n'existe pas de défauts d'alignement des blocs .

Rappel : tolérances dimensionnelles
La tolérances de rectitude admises pour 10 m est de ±50 mm.
La tolérance courante est de ±10 mm sur 1 m et/ou ±5 mm sous la règle de 30 cm (hors profil en creux spécifique des joints).
Elle pourra être ajustée en fonction de l'exigence de la maîtrise d'ouvrage et de la maîtrise d'oeuvre.

4.3.2.5. CONTRÔLE DE L'ÉPAISSEUR DES JOINTS DE MORTIER ET DE LA FINITION

Une mesure directe permettra de contrôler l'épaisseur de joints, celle-ci devra être comprise entre 10 à 15 mm d'épaisseur.
Il est recommandé de tracer sur les piges servant de guide les hauteurs d'assises afin d'obtenir une régularité de pose de celle-ci donc de l'épaisseur des joints horizontaux.

4.3.2.6. RESPECT DE LA CADENCE DE POSE ET DES TEMPS D'UTILISATION DES MORTIER

Procéder à la pose des blocs rangée par rangée, ne pas dépasser la cadence de pose indiquée à l'article *4.3.1.4. Cadence de pose et limite d'élévation quotidienne.*
Il est impératif de respecter les durées d'utilisation des mortiers

4.3.2.7. PROTECTIONS PARTICULIÈRES ET REPLI DE CHANTIER

Avant la mise en oeuvre des murs, il convient de produire des notes explicatives et méthodologiques de réalisation et de protection des ouvrages pendant le chantier et jusqu'au repli de celui-ci.

5 | QUALIFICATIONS DES ENTREPRISES & ENTREPRISES QUALIFIÉES

5.1. QUALIFICATIONS REQUISES POUR LES ENTREPRISES

5.1.1. ENTREPRISES DE PRODUCTION DE BTC

Pour être qualifiées dans le cadre de cette Atex, les entreprises de productions de BTC, existantes ou nouvellement créées, devront avoir mis en place un contrôle qualité tel que défini dans la partie *5.2. Contrôles qualité de production* et devront pouvoir fournir les rapports d'essais et de contrôle garantissant la qualité des lots de blocs produits.

A la date de l'examen du dossier par le Comité d'Experts, la liste des producteurs de BTC existant à Mayotte est la suivante :

- Mayotte sols, ZI de Kaweni, 97600 Mamoudzou
- Eco brique construction, Bureau AME 23 rue du Stade Cavani 97600 MAMOUDZOU
- Briqueterie Vahibe, Soulaïmana HOUMADI, 57, quartier Vietnam Vahibe 97600 MAMOUDZOU

5.1.2. ENTREPRISES DE MAÇONNERIE

5.1.2.1. ENTREPRISES MANDATAIRES

Elles correspondent à celles d'une entreprise de maçonnerie et de béton armé de technicité courante qui assure l'édification de murs porteurs et les travaux de gros œuvre en BTC.

Justification du niveau de qualification pour la pose du BTC
L'entreprise doit pouvoir démontrer son expérience dans l'activité de la construction en BTC et son aptitude à réaliser les contrôles en lien avec ce type de mise en œuvre.
Pour cela elle doit établir une liste aussi complète que possible des chantiers qu'elle a réalisés en BTC ou justifier de la présence, au sein de son effectif, d'au moins une personne ayant une expérience de la construction en BTC. La qualification de cette personne sera au minimum équivalente au niveau III (N3 - position 1 ou 2) : Compagnon professionnel et de préférence équivalente au niveau IV (N4 - position 1 ou 2) : Chef d'équipe ou Maître ouvrier [(1)].

Des attestations de bonne exécution des travaux, délivrés par la maîtrise d'ouvrage des opérations antérieures (SIM, vice rectorat, autre), pourront être produites pour justifier de l'expérience de l'entreprise.

NOTE (1) Selon la qualification de la Convention collective nationale des ouvriers employés par les entreprises du bâtiment du 8 octobre 1990.91

5.1.2.2. SOUS-TRAITANCE

Dans le cas ou une entreprise ayant répondu à un appel d'offre pour une mise en œuvre d'un lot BTC fait appel à une autre entreprise en sous-traitance, l'entreprise exécutant les travaux doit répondre aux mêmes critères de qualification que ceux de l'entreprise mandataire décrit ci-dessus au point 6.1.2.1.
La responsabilité de la bonne exécution des travaux incombe à l'entreprise ayant répondu à l'appel d'offres.

5.2. ENTREPRISES QUALIFIÉES

5.2.1. ORGANISMES DE CONTRÔLE & TIERCE PARTIE QUALIFIÉE

5.2.1.1. CONTRÔLES DE PRODUCTION / MATIÈRE & MATÉRIAUX

Ces contrôles peuvent être effectués par des organismes ou laboratoires disposant de l'agrément ou du matériel adéquat nécessaire (et en particulier pouvant justifier d'un calibrage régulier des outils de contrôles comme les presses de laboratoire).
Liste indicative des organismes pouvant réaliser ce type de contrôle :

- Laboratoire de la DEAL - Mayotte
- SEGC (bureau de contrôle géotechnique) Rdc - Im. Coelacanthe, Rue du commerce, B.P. 1412, 97600 Mamoudzou

5.2.1.2. CONTROLE QUALITÉ DE PRODUCTION /ORGANISME TIERCE PARTIE /(OTP)

Ces missions d'audit qualité ou de contrôle sur site peuvent être réalisées par des organismes de contrôle désignés qui garantiront le bon déroulement de ces opérations. Rappelons qu'en l'absence de marquage CE et de normes européennes sur ces produits, ils n'ont pas vocation à présenter une habilitation spécifique.

Liste indicative des organismes pouvant réaliser ce type de contrôle :

- CAP'R, référente Audrey Clain consultante « qualité et sécurité » (Réunion)
- Socotec Mayotte
- Veritas Mayotte

5.2.1.3. CONTRÔLE SUR CHANTIER

Dans tous les cas un contrôle sur chantier est réalisé en interne de l'entreprise (auto-contrôle).

Pour les opérations nécessitant une vérification de l'ouvrage en maçonnerie par le calcul, la bonne application sur le chantier du Plan d'Assurance Qualité, reprenant entres autres les opérations de contrôle de réalisation décrites dans la partie *4.3. Contrôles qualité d'exécution*, est attestée par une tierce partie qualifiée désignée à cet effet : maître d'ouvrage, son représentant, maître d'oeuvre, ingénieur conseil, etc.

La SIM (Société Immobilière de Mayotte) dispose en interne des compétences, liées à son propre savoir faire, pour assurer ce niveau de supervision sur ses opérations.

5.3. ASSISTANCE TECHNIQUE ART.TERRE MAYOTTE

Dans le cadre de l'application de cette Atex, l'association ART.TERRE qui rassemble des spécialistes aguerris (architectes, ingénieurs, techniciens...) pourra proposer une assistance technique à la demande des parties concernées : maîtrise d'ouvrage, maîtrise d'oeuvre, producteur ou entreprise de maçonnerie.
Cette assistance se base sur la mise en place d'un comité technique d'experts locaux composés de personnes ayant acquis une solide expérience sur les opérations réalisées précédemment en BTC à Mayotte.

Cette assistance pourra être de plusieurs types dont :

- **La mise en place de procédure de contrôle qualité :**
  - Producteur de BTC
  - Poseur de BTC pour les entreprises de maçonnerie

- **Des formations :**
  - Producteur BTC
  - Poseur BTC pour les entreprises de maçonnerie

  Les formations feront l'objet de la délivrance d'une attestation de formation qualifiant la personne à la technique de la BTC (production ou mise en oeuvre)

- **Assistance à la maîtrise d'oeuvre ou à la maîtrise d'ouvrage :**
  - Assistance / contrôle de la conception technique ou aide à la conception
  - Analyse des offres
  - Contrôle tierce partie sur chantier

Le comité technique d'expert est composé à la date de rédaction du document de :

- *FAYADHUIDDINE EFFEDINE RAMADAN , formateur, entrepreneur de maçonnerie, et ancien membre de l'équipe du suivi qualité de la SIM*
- *EL ANRIF BAMANA, technicien du bâtiment et des matériaux, ancien responsable de la briqueterie de Cavani,*
- *F. FABIAN ingénieur structure*
- *VINCENT LIETAR, architecte*

6 DÉSORDRES ET TRAITEMENTS

AVERTISSEMENT

Ce document concerne la réalisation d'ouvrages neufs conçus et exécutés selon les règles de l'art dont le respect garantit l'absence de malfaçons et de désordres. Néanmoins, dans un but d'information, le présent chapitre présente les principaux désordres et leurs causes ainsi que quelques moyens d'y remédier.

6.1. ORIGINES DES DÉSORDRES

Les désordres susceptibles d'affecter un ouvrage en BTC peuvent être dus à:

1. **Des défauts de conception de l'ouvrage**

- Erreur de dimensionnement (élancement des murs, longueur, épaisseur, joint de retrait).
- Système constructif inadapté : mauvaise conception ou absence de chaînages, absence de contreventement des ouvrages, etc.
- Concentration trop importante des charges / mauvais dimensionnement des appuis.
- Mauvaise prise en compte des tassements différentiels.
- Défaut de protection de l'ouvrage en particulier à la base et au sommet.
- Défaut de conception des rejets d'eau et des relevés d'étanchéité.
- Absence de coupure des remontées capillaires.
- Liaison des interfaces avec les autres matériaux inadaptés.

Les désordres typiques des bâtiments en BTC peuvent être évités par une bonne démarche de conception. Il s'agit en effet de «savoir bien construire en BTC» *(Cf. chapitre 3).*

2. **Des défauts de mise en œuvre**

- Mauvaise qualité des BTC.
- Maçonnerie réalisée avec des BTC trop humides ou mise en œuvre sans protection durant une période de fortes pluies.
- Défaut de consistance ou de composition des mortiers.
- Défaut dans le mélange des constituants du mortier.
- Défaut d'appareillage.
- Défaut de protection de l'ouvrage.

Les désordres courants pouvant apparaître lors de la mise en œuvre peuvent être évités en respectant les indications données dans cet ouvrage concernant : La qualité des BTC, les étapes et procédés de mise en œuvre (Cf. partie 4), ainsi que les procédures de contrôle couvrant ces aspects (Cf. partie 5)

3. **Des défauts d'exploitation ou d'entretien des bâtiments**

- Transformation des abords ou de la topographie (rehaussement des sols extérieurs par exemple).
- Mauvais entretien de la couverture.
- Mauvais entretien des drainages.
- Mauvais entretien des évacuations des eaux.
- Mauvais entretien des murs (usage des poduits corrosifs, d'abrasisif puissant ou d'eau sous pression)

Un entretien régulier respectant des règles simples garantira la pérennité de l'ouvrage dans le temps : système de drainage propre, fonctionnel, soubassements dégagés et hauteur minimum maintenue, collecteurs d'eaux pluviales entretenus, couverture et étanchéité des toitures fonctionnelles.

L'attention du maître d'ouvrage sera attirée sur les conditions d'entretien des murs et des éléments contigus qui ne doivent pas être nettoyés par utilisation d'eau sous pression.

4. **Des défauts de réhabilitation o**

- Travaux entraînant une surcharge inacceptable des maçonneries (par exemple : surélévation de mur, création de plancher, création d'appui ponctuel, percement de baie).
- Défaut de dispositif de protection ou d'évacuation entraînant une présence prolongée d'eau en contact direct du mur (par exemple : surfaces horizontales sans couvertures, couvertines ou appuis de baie, relevés d'étanchéité inadaptés sur les surfaces verticales).
- Ajout d'équipements apportant de l'eau liquide en contact direct avec le mur (par exemple l'installation de climatiseurs avec mauvaise anticipation de l'évacuation de l'eau de condensation).
- D'une manière générale : tous travaux ou transformations inappropriés réalisés sur les maçonneries.
- Traitement inadapté de la surface des murs (par exemple : revêtement imperméable sur les 2 faces d'un mur ne permettant plus une régulation correcte des échanges de vapeur d'eau)

Celle liste reprend les causes les plus courantes constatées d'apparition de désordres lors de réhabilitation d'un ouvrage en BTC. Elles ne sont d'ailleurs pas spécifiques au BTC.
Toutes réhabilitations ou modifications apportés à des constructions en BTC doivent être conçues en respectant les même principes que ceux définis dans le *chapitre 3 : Conception, dimensionnement, & détails constructifs.*

6.2. DESCRIPTIONS ET TRAITEMENTS DES DÉSORDRES

Tableau 19 : désordres à la mise en oeuvre de l'ouvrage

DÉSORDRES	CAUSES DES DÉSORDRES	TRAITEMENTS
LES DÉSORDRES SUIVANTS APPARAISSENT À LA MISE EN OEUVRE DE L'OUVRAGE		
VARIATION INVOLONTAIRE DE LA COULEUR DU MUR	Qualité / homogénéité inconstante des BTC mis en oeuvre.	désordre esthétique Corriger les problèmes de qualité des matériaux réceptionnés.
DÉGRADATION IMPORTANTE EN SURFACE DU MUR AVEC PERTE DE MATIÈRE	BTC de mauvaise qualité n'ayant pas du être réceptionnés. Mauvaise qualité de mortier. Incompatibilité du mortier avec les BTC	Reprises partielles ou totales des murs. Corriger les problèmes de qualité des matériaux réceptionnés. Corriger la mise en œuvre pour les murs suivants.
FISSURES DE RETRAIT	Mortier trop humide BTC trop humides BTC de mauvaise qualité ne respectant pas le temps de séchage	Validation ou reprises partielles ou totales des murs. Reboucher la fissure. Enduit ou peinture avec produits adaptés
ÉPAUFRURES	Incident au cours du chantier	Reprises des zones endommagées par matage de mortier. Mise en place de protections d'angles + réfection des enduits
GÉOMÉTRIE DU MUR NON CONFORME	Erreur ou défaillance des niveaux Mur monté trop rapidement ou mortier trop humide entraînant un affaissement.	Validation ou reprises partielles ou totales des murs. Risque structurel : démolition puis reconstruction.

Tableau 20 : désordres dus à la présence indésirable d'eau

DÉSORDRES	CAUSES DES DÉSORDRES	TRAITEMENTS
LES DÉSORDRES SUIVANTS SONT DUS À LA PRÉSENCE INDÉSIRABLE D'EAU		
MUR HUMIDE **TACHE D'HUMIDITÉ** **SUINTEMENT** **RUISSELLEMENT EN SURFACE** **ÉROSION** **MOISISSURES**	Défaut de protection du mur pendant le chantier. Défaut d'évacuation des eaux sur les protections mises en place	Corriger la protection du mur
	Manque d'entretien de la toiture, des chéneaux ou descentes d'eau entraînant des fuites ou ruissellements d'eau de pluie sur l'arase ou le long du mur, rejaillissement d'eau.	Identifier et localiser l'origine de la venue d'eau. Supprimer l'arrivée d'eau et /ou corriger le défaut d'étanchéité ou d'évacuation. si nécessaire: Nettoyage / grattage des enduits ou peintures en place / Réfection enduit de façade ou peinture
	Stagnation ou accumulation d'eau au niveau des éléments horizontaux (saillies, balcon, plancher, toiture, etc.)	
	Ruissellement et infiltration au niveau des ouvertures (appui, linteau)	
	Stockage, dépôt de matières ou d'objets contre les ouvrages Végétation type buisson, arbuste, arbre, poussant en contact du mur et entrainant une érosion par frottement/abrasion	Déplacer le dépôt à distance suffisante des ouvrages supprimer / Tailler la végétation pour éviter le contact Nettoyage / grattage des enduits ou peintures en place / Réfection enduit de façade ou peinture
	Remontée du niveau du sol extérieur au-dessus du soubassement suite à des travaux de voirie ou à des remblais.	Retrouver le niveau d'origine du sol extérieur.

Tableau 21 : désordres liés à un défaut structurel

DÉSORDRES	CAUSES DES DÉSORDRES	TRAITEMENTS
LES DÉSORDRES SUIVANTS SONT LIÉS À UN DÉFAUT STRUCTUREL		
FISSURE SOUS UNE CHARGE CONCENTRÉE, POUTRE OU POTEAU	Défaut de répartition de la charge	Si risque structurel avéré, reprise en sous-oeuvre afin de réduire les contraintes (pose d'une semelle de répartition) avec si nécessaire réfection partielle du mur. Reboucher la fissure
FISSURE DU MUR AUX LIAISONS DES JAMBAGES AVEC LES LINTEAUX ET LES APPUIS	Sous-dimensionnement des éléments de baie, linteau, jambage, appuis et / ou mouvements différentiels entre eux (tassement, retrait, cisaillement)	Renforcement des éléments sous-dimensionnés pouvant aller, en cas de risque structurel avéré, jusqu'à la reconstruction totale de la baie. Reboucher la fissure.
FISSURES ENTRE DEUX PARTIES DE MAÇONNERIE DE HAUTEUR DIFFÉRENTE	Tassement différentiel entre les maçonneries / Absence de joint de tassement.	Reboucher la fissure et créer le joint de tassement.

Remarques :
Différents types de fissures, horizontales, verticales, obliques, susceptibles d'apparaître en divers endroits de la structure, peuvent être dûs à des tassements différentiels liés à la nature du sol, à la qualité des fondations ou des chaînages, ou bien encore à l'existence de poussées mal reprises.

7 RÉFÉRENCES NORMATIVES & BIBLIOGRAPHIE

7.1. RÉFÉRENCES NORMATIVES

Les documents de référence suivants sont indispensables pour l'application du présent document. Pour les références datées, seule l'édition citée s'applique. Pour les références non datées, la dernière édition du document de référence s'applique (y compris les éventuels amendements).

NF XP P 13-901. Blocs de terre comprimée pour murs et cloisons : Définitions-spécifications-méthodes d'essai-conditions de réception. Paris : AFNOR, 2001.

NF EN 1996-1-1 Eurocode 6 : Calcul des ouvrages en maçonnerie – Partie 1-1 : Règles générales pour les ouvrages en maçonnerie armée et non armée, 2008.

NF EN 1996-2 Eurocode 6 : Calcul des ouvrages en maçonnerie – Partie 2 : Conception, choix des matériaux et mise en oeuvre des maçonneries, 2006.

NF EN 1996-2/NA Eurocode 6 : Calcul des ouvrages en maçonnerie – Partie 2 : Conception, choix des matériaux et mise en oeuvre des maçonneries – Annexe nationale à la NF EN 1996-2:2006 – Conception, choix des matériaux et mise en oeuvre des maçonneries, 2007.

NF EN 1996-3 Eurocode 6 : Calcul des ouvrages en maçonnerie – Partie 3 : Méthodes de calcul simplifiées pour les ouvrages en maçonnerie non armée, 2005.

NF DTU 20.1 - Travaux de bâtiment - Ouvrages en maçonnerie de petits éléments - Parois et murs - Partie 1-1 : cahier des clauses techniques types - Partie 1-2 : critères généraux de choix des matériaux - Partie 2 : cahier des clauses administratives spéciales types - Partie 3 : guide pour le choix des types de murs de façades en fonction du site - Partie 4 : règles de calcul et dispositions constructives minimales.

NF EN 1998-1 -Eurocode 8 - Calcul des structures pour leur résistance aux séismes - Partie 1 : règles générales, actions sismiques et règles pour les bâtiments. Septembre 2005

NF EN 1991-1-4 / NA - Novembre 2005 Eurocode 1 + Annexe nationale à la NF EN 1991-1-4:2005 : actions sur les structures - Partie 1-4 : actions générales - Actions du vent.

NF EN 1015-11, Méthodes d'essai des mortiers pour maçonnerie — Partie 11 : Détermination de la résistance en flexion et en compression du mortier durci (indice de classement : P 12-311).

NF EN 1015-12, Méthodes d'essai des mortiers pour maçonnerie — Partie 12 : Détermination de l'adhérence des mortiers d'enduit durcis appliqués sur supports (indice de classement : P 12-312).

NF EN 1015-18, Méthodes d'essai des mortiers pour maçonnerie — Partie 18 : Détermination du coefficient d'absorption d'eau par capillarité du mortier durci (indice de classement : P 12-301).

NF EN 13139, Granulats pour mortiers (indice de classement : P 18-139).

NF EN 197-1 (avril 2012) Ciment - Partie 1 : composition, spécifications et critères de conformité des ciments courants- NF EN 459-1 (mars 2012) Chaux de construction - Partie 1 : définitions, spécifications et critères de conformité- NF EN 196-5 (avril 2013) Méthodes d'essais des ciments - Partie 5 : essai de pouzzolanicité des ciments pouzzolaniques - NF EN 459-2 (août 2012) Chaux de construction - Partie 2 : méthodes d'essai - NF EN 459-3 (avril 2012) Chaux de construction - Partie 3 : évaluation de la conformité.

NF EN 845-1 : Spécification pour composants accessoires de maçonnerie - Partie 1 : attaches, brides de fixation, étriers de support et consoles - Paris : AFNOR, Août 2013

NF EN 1925 : Détermination du coefficient d'absorption d'eau par capillarité - Paris : AFNOR, 1999.

NF XP P 94-041 : Reconnaissance et essais d'identification granulométriques : méthode de tamisage par voie humide - Paris : AFNOR, 1995.

NF P 94-057. Paris : Reconnaissance et essais analyse granulométrique des sols : méthode par sédimentométrie - Paris : AFNOR, 1992.

7.2. BIBLIOGRAPHIE

RÉFÉRENCES NORMATIVES ÉTRANGÈRES, TEXTES RÉGLEMENTAIRES, PROJETS DE NORMES

DIN. Blocs de terre crue : notions, matériau, exigences, méthodes d'essai. DIN EN ISO 7500-1 . Allemagne : DIN, 2010, 27p.

BUREAU OF INDIAN STANDARDS, 1993.Indian Standard. Improving Earthquake Resistance of Earthen Buildings - Guidelines.IS 13827 : 1993. UDC 699-841 (026) : 728-61. New Delhi : Bureau of Indian Standards.

1994. Bloc de terre comprimée et stabilisée au ciment « Géobéton ». Méthodes d'essais. NI 05.11.002. Abidjan : CODINORM.

1994. Bloc de terre comprimée et stablisée au ciment « Géobéton ». Définitions et spécifications. NI 05.11.001. Abidjan : CODINORM.

AKA, J.J, 1996. La normalisation du BTC en Côte d'Ivoire. Bruxelles : CDI.

1987. Les normes et spécifications pour les matériaux locaux de construction. Documents techniques présentés pendant l'Atelier ORAN/CSC/CNUEH, Nairobi, 16-24 mars 1987. Nairobi : ORAN, CSC, CNUEH.

1987. Les normes et spécifications pour les matériaux locaux de construction. Rapport de l'atelier ORAN/SCS/CNUEH, Nairobi, 16-24 mars 1987. Nairobi : ORAN, CSC, CNUEH.

BARAMA, S, 1996. Normalisation des matériaux locaux au Sénégal. Bruxelles : CDI.

BEDDEY, A, [s.d.]. Projet de norme nationale sur les briques de terre. Tunis : Ministère de l'Equipement et de l'Habitat, Centre d'essai et de Technique de la Construction.

CAMEROUN, ministère de l'urbanisme et de l'habitat, service de promotion des matériaux locaux, 1992. Propositions de normes camerounaises pour les blocs de terre comprimée. Première version. Yaoundé : Ministère de l'Urbanisme et de l'Habitat, Service de promotion des matériaux locaux.

CODINORM, 1993. Bloc de terre comprimée et stabilisée au ciment Géobéton. Projet de norme ivoirienne PNI 05 11 001. Abidjan : CODINORM.

COMITE CIB W. 90 "TECHNOLOGIE DU BLOC DE TERRE COMPRIMÉE", 1996. Normes internationales. Blocs de Terre Comprimée : essais d'identification des matériaux et essais mécaniques. Méthodes de vérification de terrain. Document provisoire. Villefontaine : Comité CIB W 90 « Technologie du Bloc de Terre Comprimée ».

FRANCE, Ministère de l'Urbanisme et de l'habitat, Service de promotion des matériaux locaux, 1992a. Normes d'essais relatives aux blocs de terre comprimée. Yaoundé : Ministère de l'Urbanisme et de l'Habitat, Service de promotion des matériaux locaux.

FRANCE, Ministère de l'Urbanisme et de l'habitat, Service de promotion des matériaux locaux, 1992b. Normes de terminologie applicables aux blocs de terre comprimée. Yaoundé : Ministère de l'Urbanisme et de l'Habitat, Service de promotion des matériaux locaux.

FRANCE, Ministère de l'Urbanisme et de l'habitat, Service de promotion des matériaux locaux, 1992c. Normes du produit bloc de terre comprimée. Yaoundé : Ministère de l'Urbanisme et de l'Habitat, Service de promotion des matériaux locaux.

FRANCE, Ministère de l'Urbanisme et de l'habitat, Service de promotion des matériaux locaux, 1992d. Propositions de normes camerounaises pour les blocs de terre comprimée. Première version. Yaoundé : Ministère de l'Urbanisme et de l'Habitat, Service de promotion des matériaux locaux.

FRANCE, Ministère de l'Urbanisme et de l'habitat, Service de promotion des matériaux locaux, 1992e. Propositions de normes camerounaises pour les blocs de terre comprimée. Version finale. Yaoundé : Ministère de l'Urbanisme et de l'Habitat, Service de promotion des matériaux locaux.

FRANCE, Ministère de l'Urbanisme et de l'habitat, Service de promotion des matériaux locaux, 1992f. Recommandations pratiques pour la fabrication des blocs de terre comprimée. Yaoundé : Ministère de l'Urbanisme et de l'Habitat, Service de promotion des matériaux locaux.

FRANCE, Ministère de l'Urbanisme et de l'habitat, Service de promotion des matériaux locaux, 1992g. Recommandations pratiques pour l'utilisation des blocs de terre comprimée. Yaoundé : Ministère de l'Urbanisme et de l'Habitat, Service de promotion des matériaux locaux.

GIDIGASU, M.D, 1993a. Lateritic materials in rural housing construction in Ghana.Laterite housing Ghana project 3-P-88-0152.Final Report.Volume one.Text and references. KumasiOttawa : BRRI.

GIDIGASU, M.D, 1993b. Lateritic materials in rural housing construction in Ghana.Laterite housing Ghana project 3-P-88-0152.Final Report.Volume two.Tables, figures and appendices.Kumasi / Ottawa : BRRI.

HERNANDEZ BASILIO, O, 1984. Normas de diseño para construccionesa base de adobe estabilizado « Tabicote ».México : Vivienda Pueblo.

HOUBEN, Hugo, 1996. Séminaire sur la normalisation du bloc de terre comprimée. Rapport de mission du 23 au 27 avril 1996, Yaoundé, Cameroun. Bruxelles : CDI.

HOUBEN, Hugo, BOUBEKEUR, Sid, 1998. Blocs de terre comprimée : normes. BruxellesVillefontaine : CRATerre-EAG. Coll. Série Technologies.

HOUBEN, Hugo, RILI, Kemal, 1992. Projet HAB 24 - Filière BTS. Recueil de projets de normes pour les blocs de terre stabilisée. Villefontaine / Wilaya de Tipaza : CRATerre-EAG.

KNOCKE, J, 1973a. Normes techniques. Annexe n° 5 au rapport d'activité n° 5. Ouagadougou : PNUD.

KNOCKE, J, 1973b. Principe guide des normes. Annexe n° 4 au rapport d'activité n° 5.Ouagadougou : PNUD.

MOEVUS, Mariette, FONTAINE, Laetitia, ANGER, Romain, DOAT, Patrice, 2013. Projet : Béton d'Argile Environnemental (B.A.E.) Rapport final. Paris : France, ministère de l'écologie,

du développement durable et de l'énergie. 877 p.

MOLES, Olivier, CRATERRE, 1996.Cooperation programme on earthen architecture in South Africa. Paris : French Ministry of Foreign Affairs (MAE), DGRCST Bureau Afrique ; Cultural, Scientific and Cooperation Service, Embassy of France in South Africa.

MOUDZINGOULA, J, 1996. Situation de la règlementation des normes des blocs de terre comprimée au Congo. Bruxelles : CDI.

NZINAHORA, G, 1996. La problématique de l'élaboration des normes : cas du BBN. Bruxelles : CDI.

OLIVIER, A, EL GHARBI, M., MESBAH, A.Z., 1995. Proposition d'une norme pour la réalisation d'essais de résistance sur blocs de terre comprimés. RILEM TC 153 - CIB 90. La technologie du bloc de terre comprimée. Document provisoire. Paris : Comité scientifique RILEM TC 153 - CIB W90 CEB « Technologie du bloc de terre comprimée ».

RIGASSI, Vincent, CRATERRE, 1996a. Normalisation des blocs de terre comprimée au Burkina Faso. Projet Locomat. Bruxelles : CDI.

RIGASSI, Vincent, CRATERRE, 1996b. Normalisation des blocs de terre comprimée au Burkina Faso. Projet Locomat. Bruxelles : CDI.

RIGASSI, Vincent, TIEMOKO, Yamba, BAYOULOU, E., CRATERRE, 1996. Blocs de terre comprimée et blocs de terre extrudée. Projet de norme Burkina Faso, NBF. Grenoble : CRATerre-EAG.

SAMAH, O.D, 1988. Perspectives de la normalisation et du controle de qualité au Togo. Lomé : Ministère de l'Equipement et des Postes et Télécommunications ; CCL.

SCHNEIDER, U, SCHWIMANN, M, 1996. LehmbaufürArchitekten und Ingenieure.Konstruktion, Baustoffe und Bauverfahren, Prüfungen und normen, Rechenwerte.Düsseldorf : Werner Verlag.

STANDARDS NEW ZEALAND, 1998.NZS 4298:1998. Materials and workmanship for earth buildings.Wellington : Standards New Zealand.

TITECAT, M, 1986. Avant-projet de norme. Blocs de terre comprimée et stabilisée au ciment. Géobéton. Abidjan : LBTP.

VOLHARD, F. RÖHLEN, U, DACHVERBAND LEHM, 1998a. LehmbauRegeln. EinProjekt des Dachverbandes Lehm. Entwurf Juni 1998. Weimar : Dachverband Lehm.

BTC À MAYOTTE

1988. Construire à Mayotte. Mamoudzou : SIM.

1997. Notice technique : Bloc de Terre Comprimée. N° 1.1. Mamoudzou : SIM.

1997. Notice technique : Bloc de Terre Comprimée. N° 1.2. Mamoudzou : SIM.

1997. Notice technique : Bloc de Terre Comprimée. N° 1.3. Mamoudzou : SIM.

ABDEREMANE, S.A, 1997. Présentation de l'étude de faisabilité d'un projet de fabrication de Blocs de Terre Stabilisée et montage de maisons standard à caractère social. Moroni : APSP.

ANGULO, Dario, 1987. Quelques réalisations de la Société Immobilière de Mayotte. Mamoudzou : SIM.

ANGULO, Dario, 1989. Reflets d'une expérience à Mayotte. Grenoble : EAG.

BAZIN, M, CSTB, 1998. Faisabilité de documents normatifs à partir de l'état de l'art de la filière de construction en blocs de terre compressée. Etude réalisée à la demande de CRATerre, dans le contexte de la collectivité territoriale de Mayotte. Paris : CSTB.

BESOMBES, M, PERROT, P.Y, 1982. Habitat mahorais. Tome 3. Bilan des premières réalisations. Paris : AGG.

CRATERRE, [s.d.]. Recherche de matériaux pour terres à briques compressées. Mamoudzou : SIM.

DOAT, Patrice, BAMANA, E.A., CLIVIO, L., CRATERRE, 1995. Mayotte. La relance de la filière bloc de terre comprimée et la démarche qualité. Mamoudzou : SIM.

DOAT, Patrice, CRATERRE, 1987. Incidences économiques et sociales de la construction de 3500 logements et 500 bâtiments publics en terre à Mayotte. Marrakech : Maroc, ministère de l'habitat.

DOAT, Patrice, RIGASSI, Vincent, CRATERRE, 1994. Mayotte. La filière bloc de terre comprimée et la démarche qualité. Mamoudzou : SIM, Direction de l'Equipement.

DOAT, Patrice, STIELTJES, L., CRATERRE, 1989. Recherche de carrières pour l'approvisionnement des briqueteries. Mamoudzou : SIM.

FRANCE, ministère de l'urbanisme, du Logement et des Transports, 1986. Aménager équiper et construire pour le plus grand nombre. Une réponse adaptée : Mayotte une méthode, des réalisations. Paris : CETE.

GARABEDIAN, J.L, 1997. Essais d'arachementde chevilles SPIT réalisés sur un mur en briques pleines, afin de déterminer l'influence du matériau support sur la résistance des chevilles. Bourg Les Valence : SPIT Export Division.

HOUBEN, Hugo, 1989. Earth construction : a strategy of development. The construction of low-cost self-help housing on the island of Mayotte, archipelago of the Commores.Melbourne : Ministry of Housing and Construction Victoria, University of Melbourne Department of Architecture and Building.

HOUBEN, Hugo, DOAT, Patrice, 1995.Global strategies for shelter : is Mayotte a model for development ?.São Paulo : Universidade de São Paulo, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Departamento de Tecnologia da Arquitetura NUTAU.

HOUBEN, Hugo, DOAT, Patrice, LIETAR, Vincent, 1992. Is Mayotte a Model for Development ?.Eschborn : GATE.

HOUBEN, Hugo, DOAT, Patrice, ROBIN, C., 1989. Filière terre stabilisée. Analyses et essais. Villefontaine/Grenoble : CRATerre-EAG.

LIETAR, Vincent, ROLLET, Pascal, 1983. Mayotte. Habitat social. Esquisse pour un manuel de construction. Mamoudzou : SIM.

MAYOTTE, Société Immobilière de, 1995. 15 ans d'architecture à Mayotte, le pari du développement local. Mamoudzou : SIM.

RIGASSI, Vincent, CRATERRE, 1996. Mayotte, la relance de la filière Bloc de Terre Comprimée et la démarche qualité :

installation de briqueterie. Mamoudzou : SIM.

RIGASSI, Vincent, CRATERRE, 1997a. Mayotte : relance de la filière bloc de terre comprimée et la démarche qualité : formation de formateurs à la mise en œuvre des BTC. Mamoudzou : SIM, Direction de l'équipement, programme SPIOM.

RIGASSI, Vincent, CRATERRE, 1997c. Mayotte : relance de la filière Bloc de Terre Comprimée et la démarche qualité : production et mise en œuvre, codification et formation. Mamoudzou : SIM, Direction de l'équipement, programme SPIOM.

RIGASSI, Vincent, MOREL, Jean Claude, CRATERRE, 2003. Contribution aux études relatives aux aspects parasismiques de la construction en blocs de terre comprimée à Mayotte. Filière blocs de terre comprimée (BTC) à Mayotte. Grenoble : CRATerre-EAG.

RIGASSI, Vincent, SERUZIER, Michel, CRATERRE, 2002. Etat et devenir de la filière brique de terre comprimée à Mayotte. Bilan économique, social et environnemental de 20 ans de filière blocs de terre comprimée à Mayotte. GrenobleVillefontaine : CRATerre-EAG.

TAXIL, Gisèle, MISSE, Arnaud, 1998. La relance de la filière BTC à Mayotte : typologie des éléments et systèmes constructifs. GrenobleVillefontaine : CRATerre-EAG.

TAXIL, Gisèle, MISSE, Arnaud, 1999. Mayotte, filière Blocs de terre comprimée : typologie des éléments et systèmes constructifs. Grenoble : CRATerre-EAG.

OUVRAGES SUR LE BTC

COMITÉ CIB W 90 « TECHNOLOGIE DU BLOC DE TERRE COMPRIMÉE », 1996. Normes internationales. Blocs de Terre Comprimée : essais d'identification des matériaux et essais mécaniques. Méthodes de vérification de terrain. Document provisoire. Villefontaine : Comité CIB W 90 « Technologie du Bloc de Terre Comprimée ».

CRATERRE (dir.), 1991. Le bloc de terre comprimée. Eléments de base. Eschborn : GATE.

CRATERRE (dir.), 2014. Manuel de production: les matériaux en terre crue - mortiers et béton. Lubumbashi : Bureau salésien des projets.

DOULINE, Alexandre, ARNOUX, Sylvain, MAINI, Serge, 1996. The production and use of compressed earth blocks.A training manual for technicians and entrepreneurs. Villefontaine / New Delhi :CRATerre-EAG ; BMTPC ; Habitat Polytech.

GOSSIAUX E, 1929. Notice sur la fabrication des briques avec les presses à briques la Madelon et l'Herculéenne. Bruxelles : Ateliers de constructions de Villers-Perwin.

GUILLAUD, Hubert, ODUL, Pascal, JOFFROY, Thierry, 1995. Blocs de terre comprimée. Volume II : Manuel de conception et de construction. Braunschweig : Friedrich Vieweg&Sohn. ISBN 3-528-02082-2.

GUILLAUD, Hubert, RIGASSI, Vincent, ODUL, Pascal, JOFFROY, Thierry, DOULINE, Alexandre, RILI, Kemal, 1993. Guide technique du Béton de Terre Stabilisée. Alger : CNERIB.

HOUBEN, Hugo, BOUBEKEUR, Sid, 1998. Blocs de terre comprimée : normes. BruxellesVillefontaine : CRATerre-EAG CDI. Coll. Série Technologies. ISBN 2-906901-18-0.

HOUBEN, Hugo, GARNIER, Philippe, RIGASSI, Vincent, 1996. Blocs de terre comprimée : équipements de production. Bruxelles : CDI. ISBN 2-906901-12-1.

HOUBEN, Hugo, RIGASSI, Vincent, GARNIER, Philippe, 1994. Blocs de terre comprimée : équipements de production. Bruxelles : CDI. ISBN 2-906901-12-1.

LEGRAND P, 1997. Stage in situ. Les blocs de terre Comprimée. Production et mise en œuvre. Le guide de la formation. Ouagadougou : ETSHER (Ecole Inter-Etats des techniciens Supérieurs de l'Hydraulique et de l'Equipement Rural), CEFOC, Département Génie Civil.

LOCOMAT (dir.), 2000. Projet Locomat - Projet BFK 97/013. Critères de qualification des métiers du bloc de terre comprimée : Briquetiers (producteurs de BTC), Briqueteurs (maçons poseurs de BTC). Ouagadougou : PNUD UN-HABITAT Ministère des Infrastructures, de l'Habitat et de l'Urbanisme, Projet Locomat.

MAINI S. AYYAPPAN T, 1994. The Auram press 240 & 290. A user and production manual.Auroville : AV-BC.

MAINI, Serge, DOULINE, Alexandre, ARNOUX, Sylvain, 1992. The production and use of compressed earth blocks.A training manual for technicians and entrepreneurs. Villefontaine / Auroville :CRATerre-EAG AV-BC.

OLIVIER M. EL GHARBI A.Z.MESBAH A, 1995. Proposition d'une norme pour la réalisation d'essais de résistance sur blocs de terre comprimés. RILEM TC 153 - CIB 90. La technologie du bloc de terre comprimée. Document provisoire. Paris : Comité scientifique RILEM TC 153 - CIB W90 CEB « Technologie du bloc de terre comprimée ».

RIGASSI, Vincent, 1995. Blocs de terre comprimée, volume I : Manuel de production. Braunschweig : Friedrich Vieweg&Sohn. ISBN 3-528-02081-4.

STANDARDS NEW ZEALAND (dir.), 1998.NZS 4298:1998. Materials and workmanship for earth buildings.Wellington : Standards New Zealand.

.